



TUGAS AKHIR – RC14 – 1501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR SURABAYA  
MENGUNAKAN STRUKTUR BETON  
BERTULANG DENGAN SISTEM *OUTRIGGER* DAN  
*BELT-TRUSS***

FAUZAN KURNIANTO  
NRP. 3115 105 050

Dosen Pembimbing I  
Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing II  
Prof. Tavo, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RC14 – 1501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR SURABAYA  
MENGUNAKAN STRUKTUR BETON  
BERTULANG DENGAN SISTEM *OUTRIGGER* DAN  
*BELT-TRUSS***

FAUZAN KURNIANTO  
NRP. 3115 105 050

Dosen Pembimbing I  
Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing II  
Prof. Tavo, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC14 – 1501

**DESIGN OF MODIFICATION OF GUNAWANGSA  
TIDAR SURABAYA APARTMENT BUILDING  
STRUCTURE USING REINFORCED CONCRETE  
WITH OUTRIGGER AND BELT-TRUSS SYSTEM**

FAUZAN KURNIANTO  
NRP. 3115 105 050

Advisor I  
Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D

Advisor II  
Prof. Tavo, ST., MT., Ph.D

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR SURABAYA  
MENGUNAKAN STRUKTUR BETON  
BERTULANG DENGAN SISTEM *OUTRIGGER* DAN  
*BELT-TRUSS***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**FAUZAN KURNIANTO**  
NRP. 3115 105 050

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D .....(Pembimbing I)

2. Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D .....(Pembimbing II)



Surabaya  
Juli, 2017

# **DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN SISTEM OUTRIGGER DAN BELT-TRUSS**

**Nama Mahasiswa** : Fauzan Kurnianto  
**NRP** : 3115 105 050  
**Departemen** : Teknik Sipil FTSP-ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D  
2. Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

## **Abstrak**

*Gunawangsa Tidar Surabaya memiliki 3 buah tower dengan 37 lantai pada setiap tower-nya. Dengan ketinggian hingga  $\pm 115$  meter, sering terasa getaran pada lantai ketika angin berhembus kencang. Selain beban angin, bangunan diharapkan juga mampu menahan beban gempa. Untuk mengatasi masalah tersebut, bangunan perlu dimodifikasi agar performa bangunan dalam menahan beban lateral lebih baik lagi. Dengan mempertahankan struktur beton yang ada, bangunan dimodifikasi menggunakan sistem outrigger dan belt-truss. Sistem outrigger bekerja ketika dikenai beban lateral, kolom luar yang terhubung balok outrigger menahan rotasi pada kolom inti, menyebabkan simpangan lateral dan momen pada kolom inti menjadi lebih kecil. Sedangkan peran dari belt-truss adalah sebagai pengaku, dimana sistem outrigger yang menggunakan belt-truss memiliki kekakuan lebih baik daripada sistem outrigger tanpa belt-truss.*

*Dimensi dari balok outrigger dan belt-truss adalah 400 x 2000 mm. Dari hasil analisis menggunakan Extract, didapat nilai reduksi dari kolom outrigger sebesar 6,76. Sehingga nilai R sebesar 5 yang digunakan dalam desain dianggap cukup.*

**Kata Kunci:** *Belt-Truss, Extract, Gempa, Outrigger, Struktur Beton.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **DESIGN OF MODIFICATION OF GUNAWANGSA TIDAR SURABAYA APARTMENT BUILDING STRUCTURE USING REINFORCED CONCRETE WITH OUTRIGGER AND BELT-TRUSS SYSTEM**

**Name** : Fauzan Kurnianto  
**NRP** : 3115 105 050  
**Department** : Teknik Sipil FTSP-ITS  
**Advisor** : 1. Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D  
2. Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

## **Abstract**

*Gunawangsa Tidar Surabaya has 3 towers with 37 floors on each of it. With up to 115 meters of height, vibrations are often felt on the floor when the wind blows hard. Besides wind loads, the building is also expected to be able to hold earthquake loads. To solve those problems, the building needs to be modified so that performance of it in the earthquake and wind loads can be better. By maintaining the existing concrete structure, the building is modified by using outrigger and belt-truss system. The outrigger system works when it is subjected to lateral loads, the exterior column that is connected with the outrigger beam holds the rotation on the core column, causing the lateral drift and the moment on the core column to become smaller. Whilst, the role of belt-truss is as a stiffener, where the outrigger system using belt-truss has greater stiffness than the outrigger system without belt-truss.*

*The dimensions of the outrigger beam and belt-truss are 400 x 2000 mm. From the analysis using Extract, it is obtained the reduction value of the outrigger column is found as 6,76. Thus, the value, R, equals to 5 used in the design is considered sufficient.*

**Keywords:** *Belt-truss, Concrete Structure, Earthquake, Extract, Outrigger.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Allah Subhanahuwata'ala atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam yang selalu tercurah kepada panutan kita Nabi Muhammad Sallallahu alaihi wasallam sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan proposal tugas akhir ini. Selama proses penyusunan proposal tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak. Karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang besar penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua Orang Tua yang telah membesarkan dan membimbing dengan sabar.
2. Bapak dosen pembimbing Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D dan Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D yang dengan sabar membimbing, mengarahkan, dan memberi saran pada penulis.
3. Bapak dosen wali Ir. Wahyu Herijanto, MT.
4. Bapak dan Ibu dosen serta karyawan Departemen Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya.
5. Teman sekelas Lintas Jalur Teknik Sipil 2015.

Penulis menyadari bahwa proses penyusunan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan proposal tugas akhir ini. Penulis berharap laporan ini nantinya dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.2.1. Permasalahan Utama .....	3
1.2.2. Detail Permasalahan .....	3
1.3. Tujuan Tugas Akhir.....	4
1.3.1. Tujuan Umum.....	4
1.3.2. Detail Tujuan .....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1. Umum.....	7
2.2. Konsep Desain.....	8
2.2.1. Struktur Beton .....	8
2.2.2. Struktur Tahan Gempa .....	9
2.3. Analisa Beban.....	9
2.3.1. Beban Gempa .....	9
2.3.2. Beban Angin.....	16
2.3.3. Beban Mati .....	16
2.3.4. Beban Hidup.....	17
2.3.5. Kombinasi Beban .....	17
2.4. Sistem <i>Outrigger</i> dan <i>Belt-Truss</i> .....	18
2.4.1. Lokasi Optimal <i>Otrigger</i> .....	20
2.4.2. Elemen Struktur Sistem <i>Outrigger</i> .....	20
2.5. Contoh Kasus .....	22
BAB III METODOLOGI .....	25
3.1. Umum.....	25
3.2. Diagram Alir.....	25

3.3. Pengumpulan Data.....	28
3.3.1. Data Umum Bangunan .....	28
3.3.2. Data Modifikasi .....	28
3.3.3. Data Gambar.....	28
3.3.4. Data Bahan .....	28
3.3.5. Data Tanah.....	28
3.4. Studi Literatur.....	29
3.4.1. Peraturan Yang Berkaitan.....	29
3.4.2. Literatur Yang Berkaitan .....	29
3.5. Preliminari Desain .....	30
3.5.1. Dimensi Balok .....	30
3.5.2. Tebal Pelat .....	30
3.5.3. Desain Tangga .....	30
3.5.4. Dimensi Kolom .....	30
3.5.5. Dimensi <i>Corewall</i> dan Balok <i>Outrigger</i> .....	31
3.5.6. <i>Belt-Truss</i> .....	32
3.6. Perhitungan Struktur Sekunder.....	32
3.6.1. Perhitungan Pelat lantai dan Pelat Tangga .....	32
3.6.2. Perhitungan Balok Anak dan Balok Lift .....	32
3.7. Perencanaan Pembebanan.....	33
3.8. Pemodelan Pada ETABS .....	33
3.9. Gaya Dalam Hasil Analisa Struktur .....	34
3.10. Cek Simpangan dan Gaya Geser Dasar .....	34
3.10.1. Analisa Spektrum Respons Ragam.....	34
3.10.2. Simpangan Antar Lantai Tingkat .....	34
3.10.3. Skala Gaya Geser Dasar .....	34
3.11. Perhitungan Struktur Utama .....	35
3.11.1. Perhitungan Balok Induk .....	35
3.11.2. Perhitungan Kolom.....	36
3.11.3. Perhitungan <i>Shearwall</i> , Balok Tinggi dan <i>Belt-truss</i> .....	36
3.12. Kontrol Struktur Beton .....	38
3.13. Kesimpulan.....	38
3.14. Gambar .....	38
BAB IV PRELIMINARY DESIGN.....	39
4.1. Data Perencanaan .....	39

4.2. Perencanaan Dimensi Balok.....	39
4.2.1. Balok Induk .....	40
4.2.2. Balok Anak .....	41
4.2.3. Balok Lift .....	42
4.2.4. Rekapitulasi Dimensi Balok .....	42
4.3. Perencanaan Dimensi Pelat .....	43
4.3.1. Pelat Lantai .....	43
4.3.2. Pelat Tangga dan Pelat Bordes .....	46
4.4. Perencanaan Dimensi Kolom .....	48
4.5. Perencanaan Dimensi <i>Corewall</i> dan Balok <i>Outrigger</i> .....	51
4.5.1. Perencanaan Dimensi <i>Shearwall</i> .....	52
4.5.2. Perencanaan Dimensi Balok Tinggi .....	52
<b>BAB V STRUKTUR SEKUNDER .....</b>	<b>55</b>
5.1. Perencanaan Struktur Sekunder.....	55
5.2. Perencanaan Pelat.....	55
5.2.1. Pelat Lantai.....	55
5.2.2. Pelat Atap .....	68
5.2.3. Sketsa Penulangan Pelat.....	69
5.3. Perencanaan Balok .....	70
5.3.1. Balok Anak.....	70
5.3.2. Balok Lift .....	80
5.4. Perencanaan Tangga.....	87
5.4.1. Pelat Tangga dan Bordes.....	88
5.4.2. Balok Tangga .....	96
5.4.3. Balok Konsol.....	103
<b>BAB VI PEMBEBANAN DAN ANALISA STRUKTUR.....</b>	<b>107</b>
6.1. Pemodelan Struktur .....	107
6.2. Pembebanan .....	108
6.2.1. Beban Mati .....	108
6.2.2. Beban Hidup.....	109
6.2.3. Beban Angin.....	109
6.2.4. Beban Gempa .....	109
6.3. Analisa Struktur.....	114
6.3.1. Berat Sendiri Bangunan.....	114
6.3.2. Jumlah Respon Ragam .....	117

6.3.3. Periode Struktur dan Skala Gaya Gempa .....	118
6.3.4. Simpangan Bangunan ( <i>Drift</i> ).....	121
6.3.5. Distribusi Vertikal dan Horizontal Gaya Gempa.....	127
6.3.6. Pengaruh P-Delta.....	130
6.3.7. Kontrol Torsi Bawaan dan Torsi Tak Terduga.....	135
<b>BAB VII STRUKTUR PRIMER DAN <i>OUTRIGGER</i> .....</b>	<b>143</b>
7.1. Perencanaan Struktur Primer .....	143
7.1.1. Balok Induk .....	143
7.1.2. Kolom .....	164
7.1.3. Hubungan Balok Kolom (HBK).....	173
7.1.4. <i>Corewall</i> .....	175
7.1.5. <i>Couple Beam</i> .....	184
7.2. Perencanaan Struktur <i>Outrigger</i> .....	188
7.2.1. Balok <i>Outrigger</i> dan <i>Belt-truss</i> .....	188
7.2.2. Hubungan Balok <i>Outrigger</i> – Kolom <i>Outrigger</i> .....	197
7.2.3. Daktilitas Kolom <i>Outrigger</i> .....	200
<b>BAB VIII PENUTUP.....</b>	<b>215</b>
8.1. Kesimpulan.....	215
8.2. Saran.....	219
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>221</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>223</b>
Lampiran A (Data Tanah) .....	223
Lampiran B (Spesifikasi Lift).....	241
Lampiran C (Material – Manual Extract) .....	245
Lampiran D (Pemodelan <i>Outrigger</i> & <i>Belt-truss</i> ).....	249
Lampiran E (Gambar Desain).....	255

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Pemodelan sistem <i>outrigger</i> pada gedung.....	2
Gambar 2. 1	Peta respon spektra percepatan 0,2 detik ( $S_s$ ) di batuan dasar ( $S_b$ ).....	10
Gambar 2. 2	Peta respon spektra percepatan 0,2 detik ( $S_1$ ) di batuan dasar ( $S_b$ ).....	11
Gambar 2. 3	Grafik spektrum respons desain .....	14
Gambar 2. 4	(a) <i>Outrigger</i> pada puncak bangunan (b) bentuk defleksi (c dan d) diagram momen. (Taranath 2012) .....	19
Gambar 2. 5	(a) <i>Outrigger</i> pada 1/4 ketinggian bangunan (b) bentuk defleksi (c dan d) diagram momen. (Taranath 2012) .....	19
Gambar 2. 6	(a) <i>Outrigger</i> pada 1/2 ketinggian bangunan (b) bentuk defleksi (c dan d) diagram momen. (Taranath 2012) .....	19
Gambar 2. 7	(a) <i>Outrigger</i> pada 3/4 ketinggian bangunan (b) bentuk defleksi (c dan d) diagram momen. (Taranath 2012) .....	19
Gambar 2. 8	U.S. Bank Center (CTBUH).....	22
Gambar 2. 9	Structural diagram U.S. Bank Center (CTBUH) ....	22
Gambar 2. 10	The Peak (Sukamta – IPU) .....	23
Gambar 2. 11	Denah letak Balok <i>Outrigger</i> pada The Peak (Sukamta – IPU).....	23
Gambar 3. 1	Diagram alir Tugas Akhir.....	26
Gambar 4. 1	Denah struktur Apartemen Gunawangsa Tidar .....	39
Gambar 4. 2	Balok induk yang ditinjau.....	40
Gambar 4. 3	Balok anak yang ditinjau .....	41
Gambar 4. 4	Balok lift yang ditinjau.....	42
Gambar 4. 5	Pelat yang ditinjau .....	43
Gambar 4. 6	Pelat T pada balok anak.....	44
Gambar 5. 1	Dimensi pelat lantai yang ditinjau .....	56
Gambar 5. 2	Tebal manfaat pelat lantai.....	57
Gambar 5. 3	Sketsa penulangan pelat lantai & pelat atap.....	70
Gambar 5. 4	Tinggi efektif balok anak.....	71
Gambar 5. 5	Distribusi beban pada balok anak.....	71
Gambar 5. 6	Koefisien momen pada balok anak.....	72

Gambar 5. 7 Bidang geser pada balok anak.....	78
Gambar 5. 8 Detail penulangan balok anak.....	79
Gambar 5. 9 Gambar penampang lift.....	80
Gambar 5. 10 Tebal manfaat balok lift.....	81
Gambar 5. 11 Ilustrasi pembebanan pada balok lift.....	82
Gambar 5. 12 Momen yang terjadi pada balok lift.....	82
Gambar 5. 13 Gaya geser yang terjadi pada balok lift.....	82
Gambar 5. 14 Detail penulangan balok lift.....	87
Gambar 5. 15 Pemodelan dan pembebanan struktur tangga.....	89
Gambar 5. 16 Gaya lintang struktur tangga.....	90
Gambar 5. 17 Gambar momen struktur tangga.....	91
Gambar 5. 18 Tebal manfaat pelat tangga.....	92
Gambar 5. 19 Sket penulangan pelat tangga dan bordes.....	96
Gambar 5. 20 Tebal manfaat balok tangga.....	97
Gambar 5. 23 Gaya geser balok tangga.....	98
Gambar 5. 24 Sket penulangan balok tangga .....	102
Gambar 5. 25 Sket hasil perhitungan tulangan balok konsol ....	106
Gambar 6. 1 Pemodelan desain modifikasi struktur Gunawangsa Tidar .....	107
Gambar 6. 2 Tampilan WEB Puskim .....	112
Gambar 6. 3 Kurva respons spektrum desain .....	113
Gambar 6. 4 Grafik simpangan tanpa sistem <i>outrigger</i> .....	126
Gambar 6. 5 Grafik simpangan dengan sistem <i>outrigger</i> .....	127
Gambar 6. 6 Simpangan akibat pengaruh P-Delta.....	135
Gambar 7. 1 Tinggi efektif balok induk .....	144
Gambar 7. 2 Lokasi balok induk yang ditinjau .....	145
Gambar 7. 3 Reaksi ketika struktur bergoyang ke kiri .....	156
Gambar 7. 4 Reaksi ketika struktur bergoyang ke kanan .....	157
Gambar 7. 5 Grafik lendutan yang terjadi pada balok.....	159
Gambar 7. 6 Diagram momen pemberhentian tulangan.....	161
Gambar 7. 7 Sket hasil perhitungan penulangan balok induk As. 2-A;3-A Lt.2 .....	163
Gambar 7. 8 Denah lokasi kolom yang ditinjau .....	164
Gambar 7. 9 Diagram interaksi kolom (arah x).....	166
Gambar 7. 10 Diagram interaksi kolom (arah y).....	166



Gambar 7. 11 Sket hasil perhitungan tulangan kolom As. 2-B .	172
Gambar 7. 12 Sket hasil perhitungan tulangan pada HBK.....	175
Gambar 7. 13 Lokasi <i>shearwall</i> yang ditinjau.....	176
Gambar 7. 14 Detail penampang <i>shearwall</i> .....	176
Gambar 7. 15 Diagram interaksi <i>shearwall</i> (arah x).....	181
Gambar 7. 16 Diagram interaksi <i>shearwall</i> (arah y).....	181
Gambar 7. 17 Sket hasil perhitungan tulangan <i>shearwall</i> .....	183
Gambar 7. 18 Sket penulangan balok kopel As. D-E.....	187
Gambar 7. 19 Tinggi efektif balok tinggi.....	189
Gambar 7. 20 Sket hasil perhitungan penulangan balok tinggi As. 1-C;2-C.....	196
Gambar 7. 21 Desain tulangan pada HBK <i>Outrigger</i> .....	197
Gambar 7. 22 Analisa gaya pada tulangan silang.....	198
Gambar 7. 23 Detail tulangan kolom <i>outrigger</i> .....	201
Gambar 7. 24 Xtract .....	202
Gambar 7. 25 <i>New project</i> .....	202
Gambar 7. 26 <i>New project - page 2</i> .....	203
Gambar 7. 27 <i>Unconfined concrete</i> .....	203
Gambar 7. 28 <i>Confined concrete</i> .....	204
Gambar 7. 29 <i>Calculate confinement</i> .....	206
Gambar 7. 30 <i>Calculate crushing strain</i> .....	206
Gambar 7. 31 BiLinear steel model.....	207
Gambar 7. 32 Penampang kolom yang dianalisa .....	208
Gambar 7. 33 Moment curvature loading.....	208
Gambar 7. 34 Grafik hubungan regangan – tegangan beton .....	210
Gambar 7. 35 Grafik hubungan regangan – tegangan baja .....	211
Gambar 7. 36 Grafik hubungan momen – <i>curvature</i> .....	212

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi kelas situs .....	10
Tabel 2. 2 Koefisien situs $F_a$ .....	11
Tabel 2. 3 Koefisien situs $F_v$ .....	12
Tabel 2. 4 Nilai parameter perioda pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	13
Tabel 2.5 Kategori desain deismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek.....	15
Tabel 2. 6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik .....	15
Tabel 2.7 Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ untuk sistem penahan gaya gempa ....	16
Tabel 4. 1 Rekapitulasi dimensi balok .....	43
Tabel 4. 2 Rekapitulasi dimensi kolom rencana.....	51
Tabel 5. 1 Rekapitulasi hasil perhitungan pelat lantai.....	67
Tabel 5. 2 Rekapitulasi hasil perhitungan pelat atap.....	69
Tabel 6. 1 Beban mati tambahan Lt. 1-50 .....	108
Tabel 6. 2 Beban mati tambahan Lt. 51.....	108
Tabel 6. 3 Beban hidup yang bekerja .....	109
Tabel 6. 4 Data $N_{SPT}$ BH-1.....	110
Tabel 6. 5 Rekapitulasi nilai $N$ tiap titik .....	111
Tabel 6. 6 Ouput nilai - nilai parameter gempa.....	112
Tabel 6. 7 Spektrum respons percepatan desain.....	112
Tabel 6. 8 Berat tiap lantai perhitungan manual.....	115
Tabel 6. 9 Berat sendiri total (Output ETABS).....	116
Tabel 6. 10 Jumlah respon ragam dan partisipasi massa.....	117
Tabel 6. 11 Arah dan besaran periode struktur.....	118
Tabel 6. 12 $V_{Dinamik}$ <i>output</i> ETABS.....	119
Tabel 6. 13 $V_{Dinamik}$ <i>output</i> ETABS setelah dikali skala.....	120
Tabel 6. 14 Simpangan antar lantai arah X .....	122
Tabel 6. 15 Simpangan antar lantai arah Y .....	124
Tabel 6. 16 Nilai $F$ dan $V$ arah X .....	128
Tabel 6. 17 Nilai $F$ dan $V$ arah Y .....	130
Tabel 6. 18 Pengaruh P-Delta arah X.....	132
Tabel 6. 19 Pengaruh P-Delta arah Y.....	133

Tabel 6. 20 Pusat massa dan pusat kekakuan .....	136
Tabel 6. 21 Eksentrisitas akibat torsi tak terduga .....	138
Tabel 6. 22 Faktor pembesaran arah X .....	140
Tabel 6. 23 Faktor pembesaran arah Y .....	141
Tabel 7. 1 <i>Output</i> gaya dalam balok induk .....	145
Tabel 7. 2 <i>Output</i> gaya dalam kolom bawah .....	165
Tabel 7. 3 <i>Output</i> gaya dalam kolom atas .....	165
Tabel 7. 4 $M_n$ arah-X output SpColumn .....	167
Tabel 7. 5 $M_n$ arah-Y output SpColumn .....	168
Tabel 7. 6 <i>Output</i> gaya dalam <i>shearwall</i> .....	177
Tabel 7. 7 <i>Output</i> gaya dalam kolom <i>outrigger</i> .....	201
Tabel 7. 8 Hubungan regangan - tegangan beton .....	209
Tabel 7. 9 Hubungan regangan – tegangan tulangan baja .....	210
Tabel 7. 10 Hubungan momen - <i>curvature</i> .....	211
Tabel 8. 1 Rekapitulasi hasil perhitungan balok .....	216
Tabel 8. 2 Rekapitulasi hasil perhitungan kolom .....	218

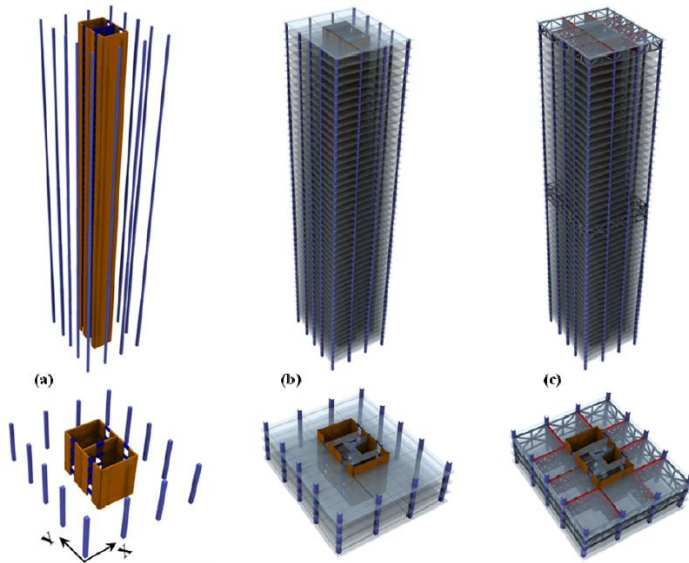
# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Gunawangsa Tidar adalah apartemen yang mengusung konsep *Mix Use High-Rise Building*. Apartemen yang terletak di Jalan Tidar no. 350 Surabaya ini menyediakan unit – unit Hunian, Hotel bintang 4, Komersial, Bisnis, dan fasilitas yang lengkap. Bangunan ini memiliki 3 buah tower dengan 37 lantai pada setiap towernya. Dengan ketinggian hingga  $\pm 115$  meter pada tingkat lantai paling atas, maka bangunan tidak lepas dari gangguan angin. Ketika angin berhembus kencang, penghuni pada lantai atas sering merasakan getaran pada lantai bangunan. Hal ini disebabkan simpangan bangunan karena beban angin. Tidak jarang, penghuni juga timbul rasa khawatir jika terjadi gempa.

Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan modifikasi struktur bangunan. Dengan mempertahankan struktur beton bertulang yang sudah ada, bangunan dimodifikasi menggunakan sistem *outrigger* dan *belt-truss*. Sistem *outrigger* bekerja ketika dikenai beban lateral, kolom luar yang terhubung balok *outrigger* menahan rotasi pada kolom inti, menyebabkan simpangan lateral dan momen pada kolom inti menjadi lebih kecil (Nanduri, Suresh, dan Hussain 2013). Sedangkan peran dari *belt-truss* adalah sebagai pengaku, dimana sistem *outrigger* yang menggunakan *belt-truss* memiliki simpangan lebih kecil daripada sistem *outrigger* tanpa *belt-truss* (Nanduri, Suresh, dan Hussain 2013). Sehingga goyangan yang dirasakan bisa dikurangi atau bahkan dihilangkan dan menimbulkan rasa nyaman untuk penghuninya. Hal ini sesuai dengan Ali dan Moon (2007) yang menyatakan bahwa masalah kemampuan layan seperti goyangan lateral, getaran lantai, dan kenyamanan pengunjung pada gedung bertingkat tinggi perlu diberi perhatian lebih.



**Gambar 1. 1 Pemodelan sistem *outrigger* pada gedung**

Secara umum, struktur utama dari sistem *outrigger* dan *belt-truss* terdiri dari kolom inti/*corewall*, kolom *exterior*, balok *outrigger* dan *belt-truss*. Kolom *exterior* dipasang mengelilingi kolom inti seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.1 (a). Kemudian pada Gambar 1.1 (b) adalah plat lantai yang dipasang pada tiap tingkat bangunan seperti pada umumnya. Kolom inti dan kolom *exterior* dihubungkan menggunakan balok *outrigger*, kemudian dipasang *belt-truss* pada kolom *exterior*nya yang berfungsi sebagai pengikat sekaligus pengaku (Gambar 1.1 (c)). Dibandingkan dengan sistem penahan momen seperti Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dan sistem penahan momen berpengaku yang juga berfungsi sebagai penahan beban lateral atau yang biasa disebut Sistem Rangka Bresing (SRB), sistem *outrigger* dan *belt-truss* memiliki performa yang lebih baik meskipun dimensi struktur yang digunakan lebih kecil (Gazali dan Iranata 2012). Dengan jumlah lantai yang sama, biaya

pelaksanaan bangunan yang menggunakan *outrigger* relatif lebih murah dibandingkan bangunan tanpa *outrigger* meskipun waktu pelaksanaannya sedikit lebih lama (Syahriar dkk. 2012).

Pada Tugas Akhir ini yang perlu diberi perhatian khusus adalah simpangan bangunan dan daktilitas bangunan. Bangunan akan dimodifikasi yang semula simpangan bangunan tidak memenuhi syarat SNI kemudian dipasang balok *outrigger* hingga simpangan bangunan memenuhi syarat SNI. Selain itu juga dilakukan perhitungan nilai daktilitas struktur dengan pendekatan tertentu. Dimana akan ada kaitannya dengan koefisien reduksi ( $R$ ) untuk mendesain beban gempa yang mana untuk sistem *outrigger* dan *belt-truss* ini tidak disebutkan secara spesifik di SNI. Sehingga didapat hasil desain yang baik dan benar sesuai dengan syarat SNI.

## **1.2. Rumusan Masalah**

### **1.2.1. Permasalahan Utama**

Bagaimana melakukan desain modifikasi struktur gedung Apartemen Gunawangsa Tidar menggunakan struktur beton bertulang dengan sistem *outrigger* dan *belt-truss*?

### **1.2.2. Detail Permasalahan**

Berdasarkan uraian latar belakang yang ada, maka permasalahan yang ditinjau pada perencanaan Apartemen Gunawangsa Tidar adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan *preliminary design* untuk modifikasi struktur gedung Apartemen Gunawangsa Tidar?
2. Bagaimana perhitungan beban yang bekerja pada struktur dengan sistem *outrigger* dan *belt-truss*?
3. Bagaimana analisa gaya dalam pada struktur dengan sistem *outrigger* dan *belt-truss*?
4. Bagaimana merencanakan struktur sekunder yang meliputi balok, pelat, dan tangga?

5. Bagaimana merencanakan struktur utama yang meliputi kolom inti/*core wall*, kolom *exterior*, balok *otrigger*, dan *belt-truss*?
6. Bagaimana menuangkan hasil perencanaan dalam bentuk gambar desain?

### **1.3. Tujuan Tugas Akhir**

#### **1.3.1. Tujuan Umum**

Melakukan desain modifikasi struktur gedung Apartemen Gunawangsa Tidar menggunakan struktur beton bertulang dengan sistem *outrigger* dan *belt-truss*.

#### **1.3.2. Detail Tujuan**

Adapun tujuan secara rinci yang diharapkan dari modifikasi struktur gedung ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *preliminary design* untuk modifikasi struktur gedung Apartemen Gunawangsa Tidar.
2. Menghitung beban yang bekerja pada struktur dengan sistem *outrigger* dan *belt-truss*.
3. Melakukan analisa gaya dalam pada struktur dengan sistem *outrigger* dan *belt-truss*.
4. Merencanakan struktur sekunder yang meliputi balok, pelat, dan tangga.
5. Merencanakan struktur utama yang meliputi kolom inti/*core wall*, kolom *exterior*, balok *outrigger*, dan *belt-truss*.
6. Menuangkan hasil perencanaan dalam bentuk gambar desain.

### **1.4. Batasan Masalah**

Agar perencanaan ini tidak meluas maka perencanaan memberikan pembatasan masalah yang akan direncanakan. Adapun batasan masalah dalam perencanaan ini yaitu:

1. Data yang digunakan adalah Apartemen Gunawangsa Tidar dengan 36 lantai, 1 lantai atap, dan 1 lantai ruang mesin.



2. Apartemen Gunawangsa Tidar memiliki 3 tower, yang ditinjau hanya 1 tower yang telah ditentukan.
3. Perencanaan hanya meninjau struktur atas.
4. Perencanaan tidak meninjau dari segi arsitektural, mekanikal, elektrik, dan plumbing.
5. Perencanaan ini tidak meninjau hingga ke analisa biaya dan manajemen serta pelaksanaan di lapangan.
6. Penggambaran hanya meliputi gambar struktur.

### **1.5. Manfaat**

Manfaat yang bisa didapatkan dari perencanaan ini adalah:

1. Memahami aplikasi dari penggunaan sistem *outrigger* dan *belt-truss* pada pembangunan gedung bertingkat tinggi yang memenuhi persyaratan.
2. Dari perencanaan ini bisa menjadi sumbangan ilmu pengetahuan tentang sistem *outrigger* dan *belt-truss* khususnya di bidang Teknik Sipil.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

Seiring dengan perkembangan zaman, manusia berlomba – lomba membangun bangunan bertingkat tinggi. Hal ini dikarenakan kebutuhan ruang yang besar, namun lahan yang tersedia tidak memadai khususnya di wilayah perkotaan. Sehingga manusia cenderung membangun secara vertikal karena tidak membutuhkan lahan yang luas. Definisi bangunan bertingkat tinggi adalah bangunan yang memiliki tinggi 35 – 100 meter, atau dengan mengabaikan tinggi asalkan bangunan memiliki jumlah 12 – 39 lantai, lebih dari itu dikatakan “pencakar langit” (Emporis Standards). Bangunan bertingkat tinggi biasanya digunakan untuk perkantoran, fungsi lain bisa juga berkonsep *mix-use* (Moon dan Ali 2007).

Sistem struktur pada bangunan bertingkat tinggi juga terus mengalami perkembangan. Menurut Suresh (2015) ada tiga generasi pada perkembangan sistem struktur, yaitu:

a) Generasi Pertama (1780 – 1850)

Pada generasi ini dinding luar dari bangunan menggunakan susunan batu, kadang juga ditambah besi cor untuk keperluan dekorasi. Kolom terbuat dari besi cor yang terlapisi, balok menggunakan baja, dan kayu digunakan sebagai pelat lantai.

b) Generasi Kedua (1850 – 1940)

Mulai muncul bangunan bertingkat tinggi yang menggunakan struktur rangka. Menggunakan beton sebagai pembungkus besi cor maupun baja.

c) Generasi Ketiga (1940 – Tugas Akhir ini ditulis)

Setelah perang dunia ke-2, pembangunan gedung bertingkat tinggi mengalami banyak kemajuan. Muncul struktur rangka baja (*core construction* dan *tube construction*), struktur beton

bertulang (*shear wall*), dan struktur komposit. Pada generasi ini juga dikembangkan *Hybird System*, sistem ini menggunakan lebih dari satu macam tipe sistem struktur pada satu bangunan.

Pada bangunan bertingkat tinggi gangguan dari beban lateral akibat beban angin dan beban gempa harus diberi perhatian lebih. Karena beban yang diterima jauh lebih besar daripada bangunan bertingkat rendah atau menengah. Selain beban lateral, bangunan juga harus bisa menahan beban gravitasi akibat beban mati dan beban hidup sesuai fungsi dari bangunan. Oleh karena itu, pemilihan sistem struktur pada bangunan bertingkat tinggi harus dilakukan secara cermat agar bangunan mampu menahan beban lateral dan beban gravitasi dengan baik sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

## 2.2. Konsep Desain

### 2.2.1. Struktur Beton

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 8.1 tentang metode desain, komponen struktur beton struktural harus diproposikan untuk kekuatan yang cukup. Menggunakan faktor beban dan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) yang ditentukan. Sehingga dapat memenuhi kriteria sebagai berikut:

#### a) Kuat (*Strength*)

Dikatakan kuat ketika kemampuan nominal elemen struktur harus lebih besar dari beban yang bekerja:

$$\phi Mn \geq Mu \quad (2-1)$$

Dimana:

$\phi Mn$  = Momen kapasitas elemen struktur

$Mu$  = Momen ultimit akibat beban

#### b) Layak (*Serviceability*)

Layak apabila elemen struktur mengalami lendutan, simpangan, dan retak tersebut masih dalam batas toleransi yang ada.

### 2.2.2. Struktur Tahan Gempa

Tujuan dari desain struktur tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur yang dapat mengakibatkan korban jiwa. Prosedur analisis dan desain beban gempa yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung harus sesuai dengan yang tercantum pada SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

## 2.3. Analisa Beban

### 2.3.1. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa adalah gaya – gaya dalam struktur yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa tersebut (PPIUG 1983 Pasal 1.0.4).

Pada tugas akhir ini pembebanan menggunakan analisa spektrum respons ragam. Berikut adalah tata cara perhitungan beban gempa yang harus diperhatikan menurut SNI 1726:2012:

#### 2.3.1.1. Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan

Tahap pertama adalah mengetahui fungsi bangunan untuk merencanakan kategori resiko dan faktor keutamaan gempa sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 4.1.2 tabel 1 dan tabel 2.

#### 2.3.1.2. Klasifikasi Jenis Tanah

Dengan data *boring log* maka dapat diketahui klasifikasi jenis tanah menggunakan persamaan:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{j=1}^n d_i}{\sum_{j=1}^n \frac{d_i}{\bar{N}_i}} \quad (2-2)$$

Dimana:

$d_i$  = Kedalaman lapisan tanah uji

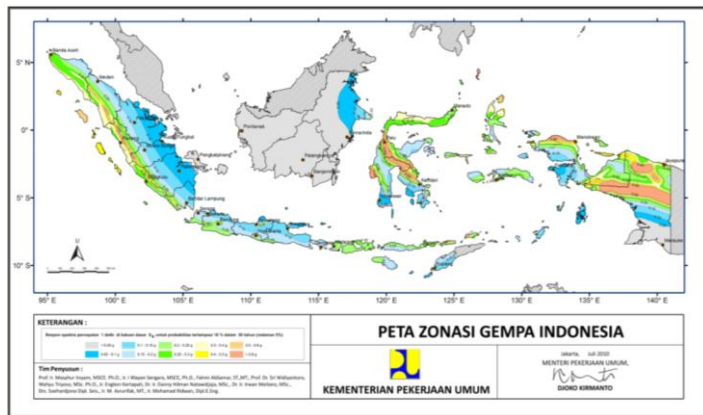


- b) Setelah itu menentukan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dengan cara melihat Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2 Koefisien situs  $F_a$**

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	$SS^b$				

- c) Kemudian melihat peta percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik ( $S_1$ ) dengan cara melihat Gambar 2.2.



**Gambar 2. 2 Peta respon spektra percepatan 0,2 detik ( $S_1$ ) di batuan dasar ( $S_b$ )**

- d) Yang terakhir adalah menentukan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ) dengan cara melihat Tabel 2.3.

**Tabel 2. 3 Koefisien situs  $F_v$** 

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	$SS^b$				

#### 2.3.1.4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Untuk mengetahui parameter percepatan spektral periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan pada periode 1 detik ( $S_{D1}$ ), menggunakan perumusan berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_S \quad (2-3)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2-4)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (2-5)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (2-6)$$

Dimana:

$S_{MS}$  = Parameter spektrum respons percepatan periode pendek

$S_{M1}$  = Parameter spektrum respons percepatan periode 1 detik

$S_{DS}$  = Parameter percepatan spektral desain periode pendek

$S_{D1}$  = Parameter percepatan spektral desain periode 1 detik

$F_a$  = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek

$F_v$  = Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik

#### 2.3.1.5. Periode Getar Fundamental

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (2-7)$$

Dimana:

$h_n$  = Ketinggian struktur dalam (m)



$C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 2.4.

**Tabel 2. 4 Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$**

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>n</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>n</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>n</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>n</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>n</sup>	0,75

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$$T_a = 0,1/N \quad (2-8)$$

Dimana:

$N$  = Jumlah tingkat

Perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dalam detik untuk struktur dinding geser batu bata atau beton diijinkan untuk ditentukan dari persamaan 28 sebagai berikut:

$$T_a = \frac{0,0062}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (2-9)$$

$$C_w = \frac{100}{A_B} \cdot \sum_{i=1}^x \left( \frac{h_n}{h_1} \right)^2 \cdot \frac{A_i}{\left[ 1 + 0,83 \cdot \left( \frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]} \quad (2-10)$$

Dimana:

$h_n$  = Ketinggian struktur (m)

$A_b$  = Luas dasar struktur (m<sup>2</sup>)

$A_i$  = Luas bidang geser “i”, (m<sup>2</sup>)

$D_i$  = Panjang dinding geser “i”, (m)

$h_i$  = Tinggi dinding geser (m)

### 2.3.1.6. Spektrum Respons Desain

Buat tabel spektrum respon desain sesuai dengan:

- a) Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ ,

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2-11)$$

- b) Untuk perioda  $\geq T_0$  dan  $\leq T_s$ ,

$$S_a = S_{DS} \quad (2-12)$$

- c) Untuk perioda  $> T_s$ ,

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2-13)$$

Dimana:

$S_a$  = Spektrum respons percepatan desain

$S_{DS}$  = Parameter percepatan spektral desain perioda pendek

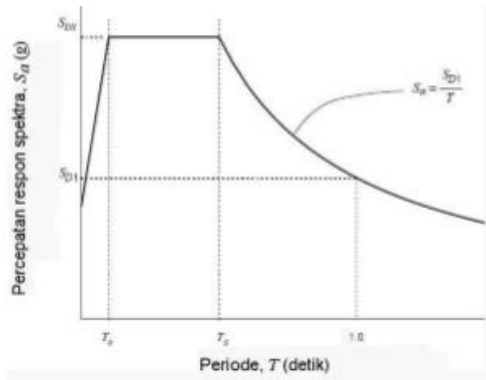
$S_{D1}$  = Parameter percepatan spektral desain perioda 1 detik

$T$  = Perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-14)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-15)$$

Setelah dibuat tabel respons desain, nilai – nilai yang terdapat pada tabel di-*input* kedalam program bantu analisa struktur sebagai beban gempa. Sehingga pada program bantu analisa struktur akan muncul grafik spektrum respons seperti pada Gambar 2.3.



**Gambar 2. 3 Grafik spektrum respons desain**

### 2.3.1.7. Kategori Desain Seismik

Untuk mengetahui kategori desain seismik langkah pertama adalah menentukan faktor keutamaan dan kategori resiko struktur bangunan sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 4.1.2. Kemudian kategori desain dapat dilihat pada Tabel 2.5 untuk  $S_{DS}$  dan Tabel 2.6 untuk  $S_{D1}$ .

**Tabel 2. 5 Kategori desain deismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek**

Nilai $S_{DS}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

**Tabel 2. 6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik**

Nilai $S_{DS}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{DS} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

### 2.3.1.8. Koefisien Modifikasi Respons (R)

Nilai R untuk sistem *outrigger* tidak disebutkan secara spesifik pada SNI. Oleh karena itu pada perencanaan ini dicoba menggunakan nilai R dari sistem rangka pemikul momen menengah. Sehingga detailing rangka yang digunakan menggunakan SRPMM. Namun untuk desain sistem *outrigger* menggunakan yang khusus. Dan akan dianalisa daktilitas elemen kolom menggunakan program bantu Xtract. Nilai R untuk SRPMM dapat dilihat pada Tabel 2.7.

**Tabel 2. 7 Faktor R, Cd, dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa**

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, $R^a$	Faktor Kuat – Lebih Sistem $\Omega_0^g$	Faktor Pembesaran defleksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

### 2.3.1.9. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik (V), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (2-16)$$

Dimana:

$C_s$  = Koefisien respon seismik (SNI 1726:2012 Ps. 7.8.1.1)

W = Berat seismik (SNI 1726:2012 Ps. 7.7.2)

### 2.3.2. Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara (PPIUG 1983 Ps. 1.0.3). Sesuai dengan PPIUG 1983 Ps. 4.2 tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m<sup>2</sup> dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari tepi pantai harus diambil minimum 40 kg/m<sup>2</sup>. Jika ada kemungkinan kecepatan angin menyebabkan tekanan tiup yang lebih besar, maka tekanan angin harus dihitung berdasarkan rumus:

$$P = \frac{V^2}{16} \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (2-17)$$

Dimana:

V = Kecepatan angin dalam m/det

### 2.3.3. Beban Mati

Beban mati dalah berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian – penyelesaian, mesin – mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (PPIUG 1983 Ps. 1.0.1).

### 2.3.4. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban – beban pada lantai yang berasal dari barang – barang yang dapat berpindah, mesin – mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan pembebanan pada lantai dan atap tersebut. Adapun besaran dari beban hidup pada gedung sesuai yang tercantum pada SNI 1727:2013.

### 2.3.5. Kombinasi Beban

Untuk desain perencanaan kombinasi pembebanan harus sesuai dengan yang tercantum pada SNI 1726:2012 Ps. 4.2 tentang kombinasi beban terfaktor (ultimit) dan beban layan (ijin).

Untuk beban ultimit, kombinasi pembebanan direncanakan sesuai Ps. 4.2.2 dengan kombinasi – kombinasi sebagai berikut:

- $1,4D$  (2-18)
- $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$  (2-19)
- $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$  (2-20)
- $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$  (2-21)
- $1,2D + 1,0E + L$  (2-22)
- $0,9D + 1,0W$  (2-23)
- $0,9D + 1,0E$  (2-24)

Untuk beban ijin, kombinasi pembebanan direncanakan sesuai Ps. 4.2.3 dengan kombinasi – kombinasi sebagai berikut:

- $D$  (2-25)
- $D + L$  (2-26)
- $D + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$  (2-27)
- $D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$  (2-28)
- $D + 0,75(0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$  (2-29)
- $0,6D + 0,6W$  (2-30)
- $0,6D + 0,7E$  (2-31)

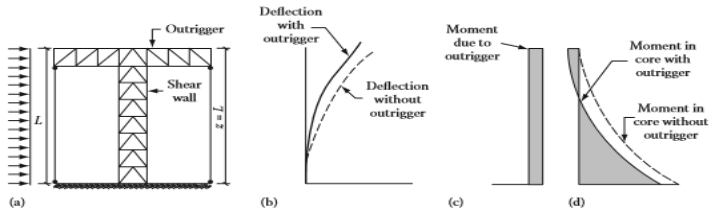
Dimana:

- D = Beban mati
- L = Beban hidup
- $L_r$  = Beban hidup pada atap
- W = Beban angin
- R = Beban air hujan
- E = Beban gempa

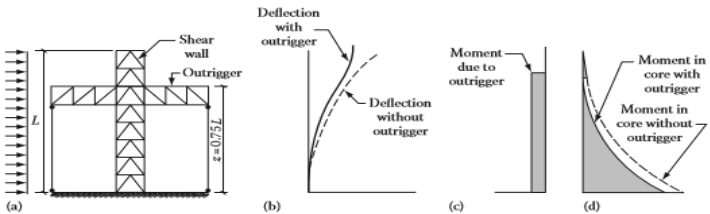
## 2.4. Sistem *Outrigger* dan *Belt-Truss*

Keindahan dan efisiensi dari sistem *outrigger* telah tercatat dengan baik dalam sejarah. Sistem ini juga menjadi salah satu kunci dalam mendesain sistem yang efisien dan ekonomis dalam bangunan bertingkat tinggi (Taranath 2012). Sistem *outrigger* bekerja ketika dikenai beban lateral, kolom luar yang terhubung balok *outrigger* menahan rotasi pada kolom inti, menyebabkan simpangan lateral dan momen pada kolom inti menjadi lebih kecil (Nanduri, Suresh, dan Hussain 2013). Sedangkan *belt-truss* berfungsi sebagai pengaku horisontal yang mengikat kolom luar untuk ambil bagian dalam menahan rotasi yang terjadi pada kolom inti. Penggunaan *belt-truss* dapat meningkatkan kekakuan bangunan hingga sebesar 25% - 35% (Taranath 2012). Sehingga sistem *outrigger* dan *belt-truss* biasanya digunakan sebagai salah satu sistem struktural untuk mengontrol simpangan yang berlebihan akibat beban lateral, baik akibat beban gempa maupun beban angin. Untuk bangunan bertingkat tinggi yang terletak di zona gempa aktif atau beban angin dominan, sistem ini dapat dipilih sebagai sistem struktur yang tepat (Kian dan Siahaan 2001).

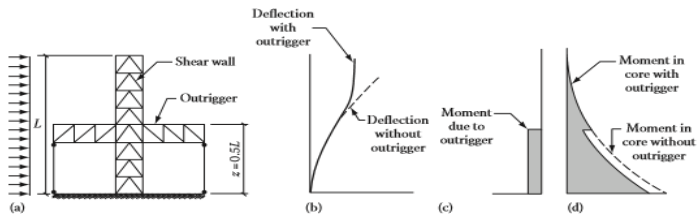
Sistem *outrigger* dan *belt-truss* akan bekerja secara efektif bergantung letak dari *outrigger* tersebut dipasang. Selain tata letak, jumlah dari *outrigger* yang dipasang juga berpengaruh pada kemampuan bangunan dalam menahan beban lateral. Gambar 2.4 hingga Gambar 2.7 adalah beberapa contoh defleksi dan momen yang timbul akibat pemasangan *outrigger* pada beberapa lokasi:



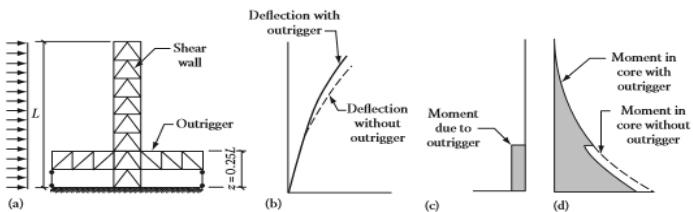
**Gambar 2. 4 (a) *Outrigger* pada puncak bangunan (b) bentuk defleksi (c dan d) diagram momen. (Taranath 2012)**



**Gambar 2. 5 (a) *Outrigger* pada 1/4 ketinggian bangunan (b) bentuk defleksi (c dan d) diagram momen. (Taranath 2012)**



**Gambar 2. 6 (a) *Outrigger* pada 1/2 ketinggian bangunan (b) bentuk defleksi (c dan d) diagram momen. (Taranath 2012)**



**Gambar 2. 7 (a) *Outrigger* pada 3/4 ketinggian bangunan (b) bentuk defleksi (c dan d) diagram momen. (Taranath 2012)**

### 2.4.1. Lokasi Optimal *Otrigger*

Berdasarkan penelitian sejauh ini, lokasi optimal untuk *single outrigger* bukan di puncak bangunan, melainkan di tengah dari total ketinggian bangunan. Hal ini diperkuat oleh beberapa insinyur yang telah melakukan analisa terhadap letak *outrigger*. Kian dan Siahaan (2001) menyatakan bahwa penggunaan balok *outrigger* yang optimal adalah dengan satu balok *outrigger* terletak pada lantai paling atas bangunan dan satu lagi terletak pada 0,475 kali dari tinggi total bangunan. Sedangkan menurut Herath dkk. (2009) letak optimal dari balok *outrigger* adalah antara 0,44 – 0,48 kali dari tinggi total bangunan. Yang terbaru adalah hasil penelitian dari Nanduri, Suresh, dan Hussain (2013) menyatakan letak balok *outrigger* yang optimal berkisar 0,5 kali dari tinggi total bangunan itu sendiri.

Namun karena persyaratan arsitektur lainnya yang diutamakan dalam tata letak struktural, manfaat dari meletakkan *outrigger* pada puncak bangunan masih layak dikejar (Taranath 2012). Hal ini memperkuat pernyataan Kian dan Siahaan (2001) yang menyatakan bahwa untuk tujuan meningkatkan performa dari aspek struktural, simpangan maksimum pada lantai puncak menjadi salah satu faktor penting yang berdampak pada kenyamanan penghuni. Struktur dengan dua buah *outrigger* menawarkan lebih banyak pilihan dalam peletakkannya. Reduksi lendutan bangunan yang mendekati hasil optimal dapat dicapai dengan menempatkan *outrigger* pada lokasi yang sama sekali berbeda dari lokasi optimal. Dengan demikian insinyur dan arsitek memiliki beberapa kelonggaran dalam memilih lokasi *outrigger*.

### 2.4.2. Elemen Struktur Sistem *Otrigger*

Elemen struktur utama Sistem *outrigger* dan *belt-truss* terdiri dari *corewall*, balok *outrigger*, kolom eksterior, dan *belt-truss* itu sendiri. Untuk setiap elemen dapat dibedakan jenis strukturnya sesuai dengan material yang digunakan.



- *Corewall*

Kolom inti atau yang biasa disebut *Corewall* merupakan pusat dari sistem *outrigger*. *Corewall* bisa terbuat dari *shearwall* atau *braced frames* bergantung material yang digunakan (Gerasimidis, Efthymiou, dan Baniotopoulos 2009). Untuk struktur bangunan yang terbuat dari beton menggunakan *shearwall*, sedangkan struktur baja menggunakan *braced frames*. Biasanya pada bangunan bertingkat tinggi, *lift* diletakkan pada *corewall*.

- *Balok Outrigger*

Balok *outrigger* adalah balok yang berperan menghubungkan *core wall* dan kolom eksterior. Pada struktur beton, balok *outrigger* bisa didesain menggunakan desain balok tinggi. Dimana balok tersebut menyerupai *shearwall* tapi hanya setinggi satu lantai yang menghubungkan *corewall* dengan kolom eksterior. Pada struktur baja, balok *outrigger* berupa rangka baja yang memiliki desain lebih fleksibel sesuai dengan kebutuhan. Namun dari segi pelaksanaan balok yang terbuat dari beton lebih mudah pelaksanaannya daripada yang terbuat dari baja. Karena pada struktur rangka baja harus diperhatikan sambungan pada rangka dan sambungan balok – kolom.

- *Kolom Eksterior*

Kolom eksterior berperan untuk menahan rotasi yang terjadi pada kolom inti, juga berperan untuk menahan gaya tarik dan tekan ketika bangunan dikenai gaya lateral. Kolom eksterior pada dasarnya sama dengan kolom pada umumnya. Hanya saja diletakkan di luar bangunan mengelilingi kolom inti. Kolom ini bisa terbuat dari beton bertulang, baja, dan komposit beton – baja.

- *Belt-Truss*

*Belt-truss* merupakan rangka baja atau beton yang dipasang untuk mengikat kolom eksterior. Fungsi dari *belt-truss* sendiri selain untuk mengikat kolom eksterior agar bekerja secara bersama – sama ketika dikenai gaya adalah untuk meningkatkan kekakuan dari struktur bangunan. Agar bisa bekerja secara

efektif, *belt-truss* dipasang pada tingkat bangunan yang terdapat balok *outrigger*.

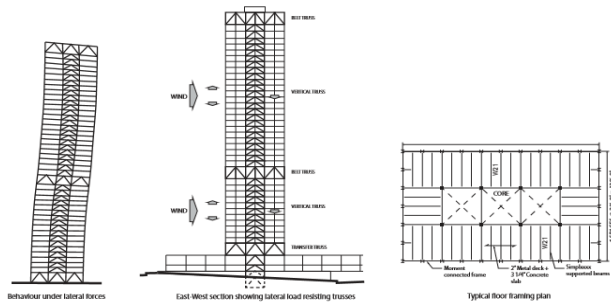
## 2.5. Contoh Kasus

Berikut ini adalah beberapa contoh bangunan yang menggunakan sistem *outrigger* dan *belt truss*.

a) U.S. Bank Center – Milwaukee USA.



**Gambar 2. 8 U.S. Bank Center (CTBUH)**



**Gambar 2. 9 Structural diagram U.S. Bank Center (CTBUH)**

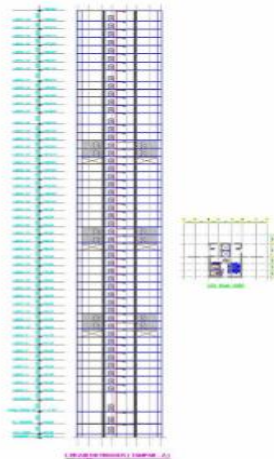
Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 bangunan U.S. Bank Center memiliki 42 lantai menggunakan

struktur baja, dan selesai dibangun pada 1973. Bangunan ini menggunakan tiga buah *outrigger* yang dipasang di puncak bangunan, dasar bangunan, dan satu lagi sekitar tigaperempat ketinggian bangunan.

b) Apartemen The Peak – Sudirman (Jakarta Selatan)



**Gambar 2. 10 The Peak (Sukamta – IPU)**



**Gambar 2. 11 Denah letak Balok Outrigger pada The Peak (Sukamta – IPU)**

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11 bangunan Apartemen The Peak memiliki 4 buah tower, dimana 2 tower memiliki 30 lantai, dan 2 sisanya 50 lantai. Pada tower dengan 50 lantai dipasang 3 buah Balok *Outrigger* sebagai sistem penahan beban lateralnya. Untuk lokasi pemasangannya dapat dilihat pada Gambar 2.12.

## **BAB III METODOLOGI**

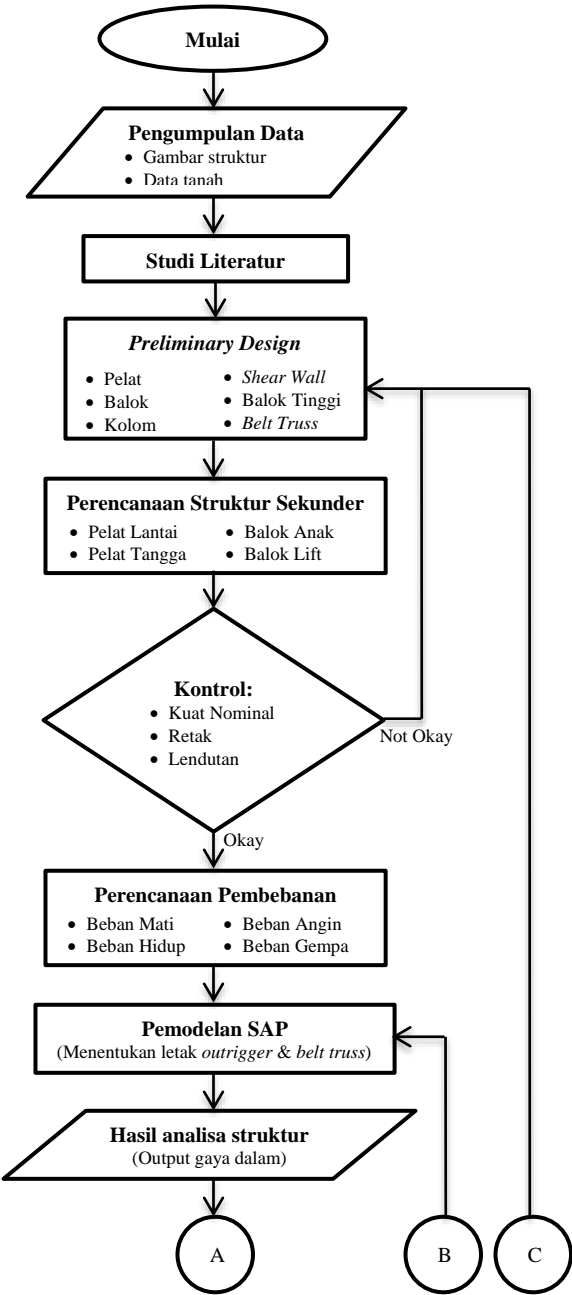
### **3.1. Umum**

Dalam metodologi akan diuraikan tahapan – tahapan atau urutan pengerjaan penyelesaian Tugas Akhir. Dimulai dari pengumpulan data, studi literatur yang berkaitan dengan sistem *outrigger* dan *belt-truss*, *preliminary design*, perencanaan beban, analisa gaya dalam, perencanaan struktur, kesimpulan berupa hasil desain dari modifikasi, dan menuangkan dalam bentuk gambar.

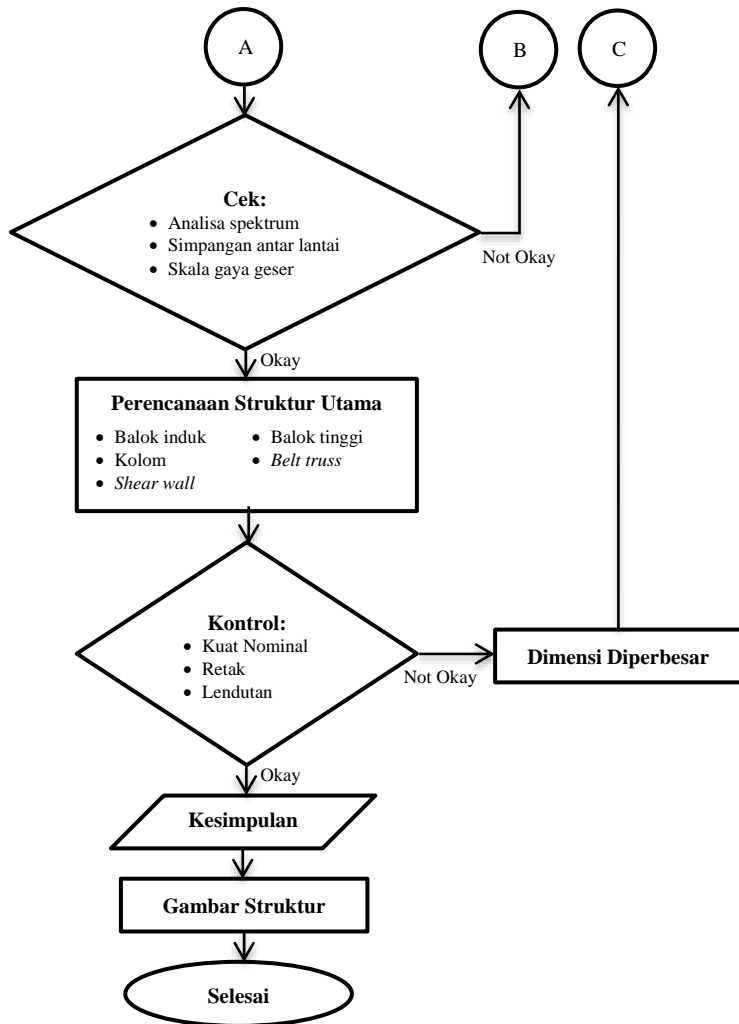
### **3.2. Diagram Alir**

Diagram alir adalah tahapan – tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Dimana setiap tahapan – tahapannya berkaitan antara satu dengan yang lainnya. Diagram alir ini menunjukkan proses penyelesaian Tugas Akhir mulai dari tahap pertama tahap akhir penyelesaian. Dengan adanya diagram alir, diharapkan mempermudah penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tahapan – tahapan dari “Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya Menggunakan Struktur Beton Bertulang Dengan Sistem *Outrigger* dan *Belt Truss*” dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3. 1 Diagram alir Tugas Akhir**



**Gambar 3. 1 Diagram alir Tugas Akhir  
(Lanjutan)**

### 3.3. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data – data yang diperlukan berupa:

#### 3.3.1. Data Umum Bangunan

Nama bangunan	: Gunawangsa Tidar Surabaya (Tower C)
Lokasi	: Surabaya
Fungsi	: Apartemen (Hunian)
Jumlah lantai	: 36 Lantai + 1 Basement + 1 Rg. Atap + 1 Rg. Mesin
Tinggi bangunan	: 115 m
Struktur bangunan	: Beton bertulang

#### 3.3.2. Data Modifikasi

Nama bangunan	: Gunawangsa Tidar Surabaya (Tower C)
Lokasi	: Surabaya
Fungsi	: Apartemen (Hunian)
Jumlah lantai	: 50 Lantai + 1 Rg. Atap + 1 Rg. Mesin
Tinggi bangunan	: 178,5 m
Struktur bangunan	: Beton bertulang
Sistem bangunan	: <i>Outrigger</i> dan <i>Belt truss</i>

#### 3.3.3. Data Gambar

Gambar arsitek	: Denah lantai dan gambar tampak
Gambar struktur	: Denah struktur, tampak potongan, detail

#### 3.3.4. Data Bahan

Mutu beton balok dan pelat	(f'c)	= 30 Mpa
Mutu beton kolom	(f'c)	= 40-50 Mpa
Mutu beton <i>shear wall</i>	(f'c)	= 50 Mpa
Mutu tulangan	polos (f <sub>y</sub> )	= 240 Mpa
	ulir (f <sub>y</sub> )	= 420 Mpa

#### 3.3.5. Data Tanah

Data tanah berupa *Boring Log* yang diambil dari beberapa titik di lokasi bangunan yaitu Jl. Tidar Surabaya.



### 3.4. Studi Literatur

Melakukan studi referensi berupa: peraturan, buku pustaka, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem *outrigger* dan *belt-truss*.

#### 3.4.1. Peraturan Yang Berkaitan

1. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847:2013).
2. Minimum Design Loads for Buildings and Others Structures (ASCE 7-10).
3. Beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2013).
4. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983).
5. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726:2012).

#### 3.4.2. Literatur Yang Berkaitan

1. Taranath, B.S. *Structural Analysis and Design of Tall Buildings – Steel and Composite Construction*, Taylor & Francis Group, LLC, 2012.
2. Wight, J. K. and MacGregor J. G. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, Pearson Education, 2012.
3. R. Park and T. Paulay. *Reinforced Concrete Structures*, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
4. M.J.N. Priestley, G.M. Calvi, and M.J. Kowalsky. *Displacement-Based Seismic Design of Structures*, IUSS Press, 2007.
5. T. Paulay and M.J.N. Priestley. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*, John Wiley and Sons, Inc, 1992.

### 3.5. Preliminari Desain

Preliminari desain adalah perencanaan awal berupa dimensi elemen struktur yang direncanakan. Berikut ini adalah elemen – elemen yang direncanakan:

#### 3.5.1. Dimensi Balok

Dengan tanpa meninjau lendutan dimensi balok direncanakan sesuai SNI-2847-2013 Ps. 9.5.2 tentang konstruksi satu arah non-prategang.

#### 3.5.2. Tebal Pelat

Perhitungan tebal pelat harus memenuhi beberapa kriteria yang terdapat dalam SNI-2847-2013 Ps. 9.5.2 untuk konstruksi satu arah dan SNI-2847-2013 Ps. 9.5.3 tentang konstruksi dua arah (non-prategang).

#### 3.5.3. Desain Tangga

Tangga dibuat dengan tujuan memudahkan manusia dalam berpindah tempat dari lantai bawah ke lantai atas dan sebaliknya. Agar menimbulkan rasa nyaman bagi penggunaanya maka tinggi injakan dan lebar injakan pada tangga harus memenuhi:

$$a. \quad 60 \leq (2t + i) \leq 65 \quad (3-1)$$

$$b. \quad 25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ \quad (3-2)$$

Dimana:

t = Tinggi tanjakan anak tangga

I = Lebar injakan anak tangga

$\alpha$  = Sudut kemiringan tangga

#### 3.5.4. Dimensi Kolom

Dimensi kolom ditentukan berdasarkan pendekatan konsep beban *tributary area* yang harus dipikul kolom, sehingga didapat persamaan:

$$A = \frac{P}{\phi \cdot f_c} \quad (3-3)$$

Dimana:

- A = Luas perlu penampang kolom  
 P = Total beban yang menumpu kolom  
 $\phi$  = Faktor reduksi  
 $f'_c$  = Mutu beton (kuat tekan beton)

### 3.5.5. Dimensi Corewall dan Balok Outrigger

Sistem *outrigger* terdiri dari *corewall* dan balok *outrigger*, dimana dalam tugas akhir ini *corewall* didesain menggunakan *shearwall* sedangkan balok *outrigger* didesain menggunakan balok tinggi (setinggi 1 lantai pada tingkat lantai yang ditentukan).

- *Shearwall*

Untuk tebal *shearwall* atau dinding geser harus memenuhi persyaratan pada SNI 02847:2013 Ps. 22.6.6.2 yaitu tebal dinding geser tidak boleh kurang dari:

a.  $\frac{H}{24}$  (3-4)

b.  $\frac{L}{24}$  (3-5)

- c. Dari persamaan (3-8) dan (3-9) yang lebih pendek menentukan atau tidak boleh kurang dari 140 mm.

Dimana:

- H = Tinggi tak tertumpu  
 L = Panjang tak tertumpu

- Balok Tinggi

Balok tinggi adalah komponen struktur yang dibebani pada salah satu mukanya dan ditumpu pada muka yang berlawanan sehingga strat tekan dapat membentuk di antara beban dan tumpuan. Sesuai SNI 2847:2013 Ps. 10.7.1 balok tinggi harus mempunyai salah satu antara:

a.  $l_n \leq 4h$  (3-6)  
 atau

- b. Daerah dengan beban terpusat dalam jarak 2h dari muka tumpuan.

Dimana:

ln = Bentang bersih

h = Tinggi komponen struktur keseluruhan

### **3.5.6. Belt-Truss**

*Belt-truss* direncanakan menggunakan dinding beton atau balok tinggi bergantung sifat elemen yang didesain, sehingga tata cara perencanaan dapat mengikuti SNI 2847:2013 Ps. 10.7.1.

## **3.6. Perhitungan Struktur Sekunder**

Pada tahap ini kebutuhan tulangan elemen struktur yang ditinjau dihitung dengan mengabaikan gaya gempa. Sehingga perhitungan momen yang diterima dapat dihitung secara manual tanpa menggunakan program bantu analisa struktur.

### **3.6.1. Perhitungan Pelat lantai dan Pelat Tangga**

Pelat lantai diharapkan dapat memikul beban gravitasi pada bangunan. Perhitungan penulangan pelat harus memenuhi persyaratan diantaranya:

- Perhitungan kebutuhan tulangan awal untuk mengetahui nilai  $\phi$  dapat dilihat pada SNI 2847:2013 Ps. 9.3 tentang kekuatan desain.
- Cek syarat kebutuhan tulangan minimum sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 13.3 tentang penulangan slab (pelat).
- Cek syarat jarak tulangan terpasang sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 13.3.2 dan Ps. 7.6.5.
- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 10.6.4.
- Kontrol lendutan yang terjadi sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 9.5.3.1.

### **3.6.2. Perhitungan Balok Anak dan Balok Lift**

Balok anak berfungsi sebagai pembagi/pendistribusi beban. Sedangkan balok lift merupakan balok yang berfungsi sebagai pemikul dan penumpu lift. Dimana untuk balok lift ada

faktor kejut akibat mesin lift yang berpengaruh pada pembebanan. Secara umum perhitungan penulangan balok anak dan balok lift harus memenuhi persyaratan diantaranya:

- a. Perhitungan kebutuhan tulangan awal untuk mengetahui nilai  $\phi$  dapat dilihat pada SNI 02847:2013 Ps. 9.3 tentang kekuatan desain tulangan longitudinal.
- b. Cek syarat kebutuhan tulangan minimum longitudinal sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1.
- c. Kontrol spasi jarak penulangan sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 7.6.
- d. Kebutuhan tulangan geser dan torsi sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps.11.

### 3.7. Perencanaan Pembebanan

Perencanaan pembebanan dihitung untuk kemudian di-*input* pada program bantu analisa struktur. Beban yang digunakan sesuai dengan:

- a. SNI 1727:2013 untuk beban hidup dan ASCE 7-10 untuk beban mati, serta beban angin.
- b. SNI 1726:2012 untuk perencanaan beban gempa.
- c. SNI 1726:2012 untuk kombinasi pembebanan, dimana kombinasi beban untuk metode ultimit dapat direncanakan sesuai Ps. 4.2.2, sedangkan kombinasi beban untuk metode tegangan ijin dapat direncanakan sesuai dengan Ps. 4.2.3.

### 3.8. Pemodelan Pada ETABS

Setelah melalui tahap preliminari desain dan perencanaan pembebanan, bangunan dimodelkan sesuai dengan denah yang telah dibuat, kemudian beban yang sudah direncanakan dibebankan pada model bangunan yang sudah dibuat. Pada tahap ini letak dari balok *outrigger* dan *belt-truss* ditentukan.

### 3.9. Gaya Dalam Hasil Analisa Struktur

Dari *run analysis* pada program bantu ETABS didapat *output* gaya dalam struktur yang berupa momen, gaya normal, dan gaya lintang. Dari gaya dalam yang didapat maka dapat dilakukan perhitungan tulangan pada elemen struktur yang ditinjau.

### 3.10. Cek Simpangan dan Gaya Geser Dasar

Berikut ini adalah beberapa hal yang harus dikontrol sesuai dengan yang tercantum pada SNI 1726:2012 yaitu analisa spektrum respons ragam, kontrol simpangan antar lantai tingkat, dan skala gaya geser dasar.

#### 3.10.1. Analisa Spektrum Respons Ragam

Sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 7.9.1 partisipasi massa ragam efektif dalam menghasilkan respons total harus sekurang – kurangnya 90% dari massa aktual.

#### 3.10.2. Simpangan Antar Lantai Tingkat

Sesuai dengan SNI 1726-2012 Ps. 7.12.1 simpangan antar lantai tingkat dibatasi dan harus memenuhi:

$$\Delta \leq \Delta_a \quad (3-7)$$

Dimana:

$\Delta$  = Simpangan antar lantai tingkat desain

$\Delta_a$  = Simpangan antar lantai tingkat ijin

#### 3.10.3. Skala Gaya Geser Dasar

Sesuai dengan SNI 1726-2012 Ps. 7.12. gaya geser dasar ( $V_t$ ) dari hasil analisa menggunakan respons spektrum setidaknya adalah sebesar 85% dari gaya geser dasar ( $V$ ) yang dihitung menggunakan prosedur lateral ekuivalen. Bila kurang dari 85% maka gaya gaya harus dikalikan dengan:

$$0,85 \times \frac{V}{V_t} \quad (3-8)$$

Dimana:

$V_t$  = Gaya geser dasar respons spektrum

$V$  = Gaya geser dasar lateral ekuivalen

### 3.11. Perhitungan Struktur Utama

Pada tahap ini kebutuhan tulangan elemen struktur yang ditinjau dihitung berdasarkan gaya – gaya dalam yang diterima elemen struktur tersebut. Termasuk gaya akibat beban gempa dan beban angin, sehingga perlu dilakukan pendetailan khusus.

#### 3.11.1. Perhitungan Balok Induk

Balok Induk direncanakan sesuai dengan persyaratan komponen struktur lentur rangka momem menengah. Sehingga harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847:2013 pasal 21.3. Jika komponen sudah memenuhi persyaratan maka penulangan pada balok dapat dihitung dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Desain tulangan torsi sesuai SNI 2847:2013 Ps. 11.5.
- b. Perhitungan kebutuhan tulangan awal untuk mengetahui nilai  $\phi$  dapat dilihat pada SNI 2847:2013 Ps. 9.3 tentang kekuatan desain tulangan longitudinal.
- c. Cek syarat kebutuhan tulangan minimum longitudinal sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 10.5.1.
- d. Kontrol spasi jarak penulangan sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps.7.6.
- e. Perhitungan kebutuhan penampang akan tulangan geser sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.3.3 tentang komponen rangka momen menengah yang dikenai beban lentur dan aksial.
- f. Jarak tulangan geser (sengkang) sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.3.4.
- g. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 12.2, sedangkan panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 12.3.

### 3.11.2. Perhitungan Kolom

Dalam perencanaan kolom digunakan diagram interaksi dari program bantu SpColumn, dimana gaya – gaya aksial dan momen diperoleh dari output program bantu ETABS. Dari diagram interaksi tersebut didapat nilai  $\rho$  untuk menghitung kebutuhan tulangan atau  $A_{s\text{perlu}}$ . Kemudian hitung syarat jarak pemasangan tulangan dan kebutuhan tulangan geser sesuai dengan syarat rangka momen menengah, dengan tahapan sebagai berikut:

- Kontrol spasi jarak penulangan sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 7.6.
- Lokasi pemasangan tulangan geser pada kolom sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 21.3.5.2.
- Cek kuat geser kolom sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 11.2.1.2
- Penyaluran sambungan tulangan vertikal pada kolom sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3.

### 3.11.3. Perhitungan *Shearwall*, Balok Tinggi dan *Belt-truss*

Dalam perencanaan ini antara *Shearwall* dan Balok tinggi dianggap sebagai satu kesatuan, maka perencanaan *shearwall* harus sesuai dengan poin – poin yang tertuang pada SNI 03-2847-2013 Pasal 21.9 tentang dinding struktur khusus dan balok kopel sebagai berikut:

- Rasio tulangan badan (*web*) terdistribusi

$$\rho_l \text{ dan } \rho_t \geq 0,0025 \quad (3-9)$$

- $\rho_l$  dan  $\rho_t$  diizinkan direduksi bila

$$Vu \leq 0,083 \cdot \lambda \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} \quad (3-10)$$

- Spasi tulangan harus memenuhi

$$S \leq 450 \text{ mm} \quad (3-11)$$

- Harus dipasang 2 lapis tulangan jika

$$Vu > 0,17 \cdot \lambda \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} \quad (3-12)$$

- Tegangan geser desain dinding struktur harus memenuhi

$$Vn \leq A_{cv} \cdot (a_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + \rho_t \cdot f_y) \quad (3-13)$$



Dimana:

- $\rho_l$  = Rasio luas tulangan longitudinal terdistribusi terhadap luas beton bruto  
 $\rho_t$  = Rasio luas tulangan transversal terdistribusi terhadap luas beton bruto  
 $\lambda$  = Faktor modifikasi  
 $A_{cv}$  = Luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dalam arah gaya geser yang ditinjau  
 $f'_c$  = Kuat tekan beton yang disyaratkan  
 $\alpha_c$  = Koefisien  
 $S$  = Spasi pusat ke pusat  
 $V_u$  = Gaya geser terfaktor pada penampang  
 $V_n$  = Tegangan geser nominal  
 $f_y$  = Kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan

Sedangkan untuk balok tinggi dan *belt truss* direncanakan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.7 tentang balok tinggi dengan ketentuan:

- a. Balok tinggi harus diproporsikan sedemikian rupa hingga

$$V_u \leq \phi \cdot 0,83 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3-14)$$

- b. Luas tulangan geser tegak lurus sumbu longitudinal

$$A_v \geq 0,0025 \cdot b_w \cdot s \quad (3-15)$$

dan  $s$  tidak lebih besar dari yang lebih kecil dari

- $\frac{d}{5}$  (3-16)

- $300 \text{ mm}$  (3-17)

- c. Luas tulangan geser yang paralel sumbu longitudinal

$$A_{vh} \geq 0,0025 \cdot b_w \cdot s_2 \quad (3-18)$$

dan  $s_2$  tidak lebih besar dari yang lebih kecil dari

- $\frac{d}{5}$  (3-19)

- $300 \text{ mm}$  (3-20)

Dimana:

- $V_u$  = Gaya geser terfaktor penampang  
 $\phi$  = Faktor reduksi kekuatan  
 $f'_c$  = Kuat tekan beton yang disyaratkan

$b_w$	= Lebar badan
$d$	= Jarak dari serat tulangan terjauh ke pusat tulangan longitudinal
$A_h$	= Luas total tulangan geser paralel terhadap tulangan tarik utama
$S$	= Spasi pusat ke pusat suatu benda
$A_{vh}$	= Luas tulangan geser yang paralel terhadap tulangan tarik lentur dalam spasi $s_2$
$S_2$	= Spasi pusat ke pusat tulangan geser atau torsi longitudinal

### 3.12. Kontrol Struktur Beton

Pada dasarnya perencanaan elemen struktur beton harus memenuhi dua kriteria, yaitu:

- c) Kuat (*Strength*)
- d) Layak (*Serviceability*)

### 3.13. Kesimpulan

Kesimpulan berupa rangkuman yang berisi tentang hasil perencanaan, serta saran dan tambahan tentang perencanaan yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini.

### 3.14. Gambar

Semua hasil perencanaan pada bab ini dituangkan dalam bentuk gambar struktur menggunakan program bantu CAD.

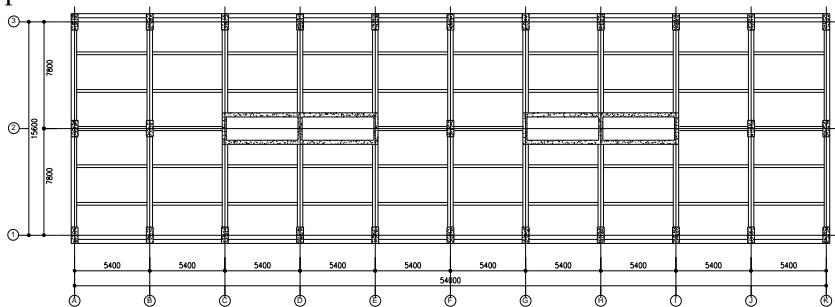
## BAB IV PRELIMINARY DESIGN

### 4.1. Data Perencanaan

Perencanaan Apartemen Gunawangsa Tidar ini menggunakan struktur beton bertulang pada balok, pelat, kolom, *shear wall*, balok tinggi dan *belt-truss*. Berikut adalah data bahan sebagai pertimbangan perhitungan *preliminary design*:

Fungsi bangunan		= Apartemen
Tinggi bangunan		= 178,5 m
Luas bangunan		= 54 m x 15,6 m
Mutu beton balok dan pelat	(f'c)	= 30 Mpa
Mutu beton kolom	(f'c)	= 40-50 Mpa
Mutu beton <i>shearwall</i>	(f'c)	= 50 Mpa
Mutu tulangan	polos (f <sub>y</sub> )	= 240 Mpa
	ulir (f <sub>y</sub> )	= 420 Mpa

Tampak denah struktur Apartemen Gunawangsa Tidar seperti pada Gambar 4.1.



**Gambar 4. 1 Denah struktur Apartemen Gunawangsa Tidar**

### 4.2. Perencanaan Dimensi Balok

Pada bangunan ini terdapat tiga jenis balok yaitu balok induk, balok anak, dan balok lift.

#### 4.2.1. Balok Induk

Tinggi minum balok induk direncanakan sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 9.5.2 tentang konstruksi satu arah non-prategang. Dengan mengasumsikan balom tertumpu sederhana maka sesuai Tabel 9.5 (a) pada SNI 2847:2013 didapat rumus:

$$h_{min} = \frac{l}{16} \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

Dengan ketentuan  $f_y$  selain 420 Mpa nilainya harus dikalikan dengan  $\left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$ .

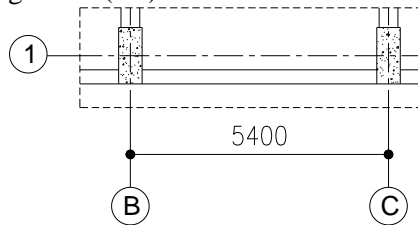
Dimana:

$f_y$  = Mutu tulangan (Mpa)

$h_{min}$  = Tinggi minimum balok (cm)

$b$  = Lebar balok (cm)

$l$  = Panjang balok (cm)



**Gambar 4. 2 Balok induk yang ditinjau**

Pada bab ini akan diberikan contoh perhitungan dimensi balok induk sesuai dengan yang ditinjau pada Gambar 4.2. Untuk balok induk dengan tipe lain akan disajikan dalam bentuk rekap tabel.

- Balok induk

$$l = 5400 \text{ cm}$$

$$h_{min} = \frac{5400}{16} = 337,5 \text{ cm}$$

$$h \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times 40 = 26,67 \text{ cm}$$

$$\approx 30 \text{ cm}$$

Sehingga didapat dimensi balok induk melintang dengan panjang bentang 5400 cm sebesar 30/40 cm.

#### 4.2.2. Balok Anak

Tinggi minum balok anak direncanakan sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 9.5.2 tentang konstruksi satu arah non-prategang. Dengan mengasumsikan balok kedua ujung menerus maka sesuai Tabel 9.5 (a) pada SNI 2847:2013 didapat rumus:

$$h_{min} = \frac{l}{21} \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

Dengan ketentuan  $f_y$  selain 420 Mpa nilainya harus dikalikan dengan  $\left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$ .

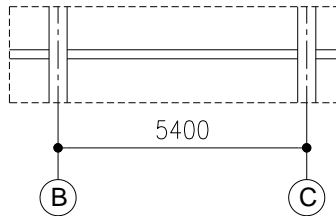
Dimana:

$f_y$  = Mutu tulangan (Mpa)

$h_{min}$  = Tinggi minimum balok (cm)

$b$  = Lebar balok (cm)

$l$  = Panjang balok (cm)



**Gambar 4. 3 Balok anak yang ditinjau**

Pada bab ini akan diberikan contoh perhitungan dimensi balok anak sesuai dengan yang ditinjau pada Gambar 4.3. Untuk balok anak dengan tipe lain akan disajikan dalam bentuk rekap tabel.

- Balok anak

$$l = 540 \text{ cm}$$

$$h_{min} = \frac{540}{21} = 25,7 \text{ cm}$$

$$h \approx 35 \text{ cm}$$

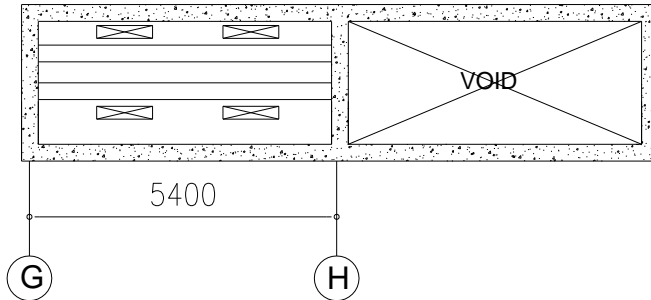
$$b = \frac{2}{3} \times 35 = 23,33 \text{ cm}$$

$$\approx 20 \text{ cm}$$

Sehingga didapat dimensi balok anak dengan panjang bentang 540 cm sebesar 20/35 cm.

### 4.2.3. Balok Lift

Untuk menentukan dimensi balok lift, pendekatan yang digunakan sama dengan cara menentukan dimensi balok induk dengan mengasumsikan balok tertumpu jepit pada kedua sisinya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4. 4 Balok lift yang ditinjau**

Pendekatan yang digunakan pada perencanaan balok lift sama dengan perencanaan balok induk, sehingga:

- Balok induk memanjang

$$l = 540 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = \frac{540}{16} = 33,75 \text{ cm}$$

$$h \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times 40 = 26,67 \text{ cm}$$

$$\approx 30 \text{ cm}$$

Sehingga didapat dimensi balok lift dengan panjang bentang 540 cm sebesar 30/40 cm.

### 4.2.4. Rekapitulasi Dimensi Balok

Tabel 4.1 berikut ini adalah hasil rekapitulasi preliminari dimensi balok berdasarkan tipe dan bentang:

**Tabel 4. 1 Rekapitulasi dimensi balok**

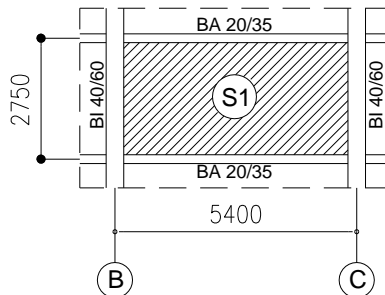
<b>Tipe Balok</b>	<b>Bentang (m)</b>	<b>Lebar (cm)</b>	<b>Tinggi (cm)</b>
BI-1	5,4	30	40
BI-2	7,8	40	60
BA	5,4	20	35
BL	5,4	30	40

### 4.3. Perencanaan Dimensi Pelat

Untuk merencanakan tebal pelat, harus ditinjau terlebih dahulu jenis pelat. Jika pelat satu arah maka perencanaan mengikuti SNI 2847:2013 Ps. 9.5.2, sedangkan untuk pelat dua arah mengikuti SNI 2847:2013 Ps. 9.5.3.

#### 4.3.1. Pelat Lantai

Pada bab ini akan diberikan contoh perhitungan tebal pelat sesuai dengan yang ditinjau pada Gambar 4.5. Pada bangunan ini kebetulan luas dan bentang pelat sama (tipikal).

**Gambar 4. 5 Pelat yang ditinjau**

$$L_y = 5400 \text{ mm} = 540 \text{ cm}$$

$$L_x = 2600 \text{ mm} = 260 \text{ cm}$$

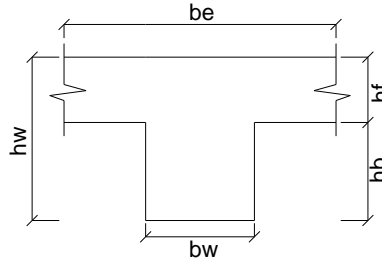
$$L_n = 540 - \left( \frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 500 \text{ cm}$$

$$S_n = 275 - \left( \frac{20}{2} + \frac{20}{2} \right) = 255 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{500}{255} = 1,96 < 2 \text{ (plat dua arah)}$$

Maka tebal pelat direncanakan sesuai dengan Ps. 9.5.3.3 pada SNI 2847:2013. Namun yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah menentukan lebar efektif pelat sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 13.2.4.

- Pelat T pada bagian balok anak ditunjukkan oleh Gambar 4.6



**Gambar 4. 6 Pelat T pada balok anak**

Lebar efektif pelat:

$$\begin{aligned} b_e &= b_w + 2 \cdot h_b & b_e &= b_w + 8 \cdot h_f \\ &= 20 + 2 \cdot 23 & &= 20 + 8 \cdot 12 \\ &= 63 \text{ cm} & &= 116 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dipakai  $b_e$  terkecil (menentukan) = 63 cm

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right) x \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h_w}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{63}{20} - 1\right) x \left(\frac{12}{35}\right) x \left[4 - 6\left(\frac{12}{35}\right) + 4\left(\frac{12}{35}\right)^2 + \left(\frac{63}{20} - 1\right) x \left(\frac{12}{35}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{63}{20} - 1\right) x \left(\frac{12}{35}\right)}$$

$$K = 1,636$$

Inersia balok:

$$I_b = K x \frac{1}{12} x b x h^3 = 1,636 x \frac{1}{12} x 20 x 30^3 = 73620 \text{ cm}^4$$

Inersia pelat:

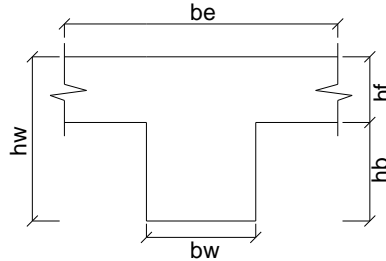
$$I_p = \frac{1}{12} x S_n x h_f^3 = \frac{1}{12} x 255 x 12^3 = 36720 \text{ cm}^4$$



Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\alpha = \frac{I_b}{I_p} = \frac{73620}{36720} = 2,004$$

- Pelat T pada bagian balok induk ditunjukkan oleh Gambar 4.7



**Gambar 4. 7 Pelat T pada balok induk**

Lebar efektif pelat:

$$\begin{aligned} b_e &= b_w + 2 \cdot h_b & b_e &= b_w + 8 \cdot h_f \\ &= 40 + 2 \cdot 48 & &= 40 + 8 \cdot 12 \\ &= 136 \text{ cm} & &= 136 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dipakai  $b_e$  terkecil (menentukan) = 136 cm

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right) x \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h_w}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right) x \left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$K = 1,64$$

Inersia balok:

$$I_b = K x \frac{1}{12} x b x h^3 = 1,64 x \frac{1}{12} x 40 x 60^3 = 1180800 \text{ cm}^4$$

Inersia pelat:

$$I_p = \frac{1}{12} x L_n x h_f^3 = \frac{1}{12} x 500 x 12^3 = 72000 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$\alpha = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1180800}{72000} = 16,4$$

Dengan cara yang sama, nilai  $\alpha$  untuk keempat sisinya didapat:

$$\text{Sisi balok T (Sn = 255)} \quad = 2,004$$

Sisi balok T (Ln = 505) = 16,4  
 Sisi balok T (Sn = 255) = 2,004  
 Sisi balok T (Ln = 505) = 16,4

$$\text{Jadi } \alpha_{fm} = \frac{1}{4} \times (2,004 + 16,4 + 2,004 + 16,4) = 9,202$$

Karena  $\alpha_{fm} > 2$  maka untuk menentukan ketebalan pelat digunakan persamaan seperti pada SNI 2847:2013 Ps. 9.5.3.3(c) dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

$$h = \frac{Ln \times (0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9 \cdot \beta} = \frac{500 \times (0,8 + \frac{420}{1400})}{36 + 9 \cdot (1,96)} = 10,25 \text{ cm} \approx 12 \text{ cm}$$

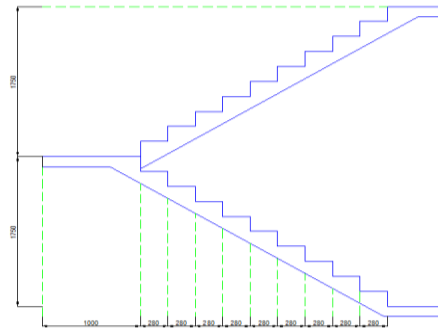
10,25 cm > 9 cm, sehingga persyaratan memenuhi. Tebal pelat yang digunakan adalah 12 cm.

#### 4.3.2. Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Data Perencanaan:

Tinggi antar lantai = 350 cm  
 Tinggi pelat bordes = 175 cm  
 Tebal pelat tangga = 15 cm  
 Tebal pelat bordes = 15 cm  
 Lebar tangga = 105 cm  
 Lebar bordes = 100 cm  
 Lebar injakan (i) = 28 cm  
 Tinggi injakan (t) = 17,5 cm

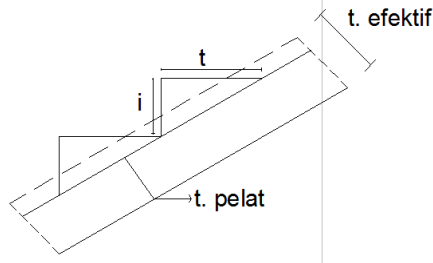
Dan detail desain tangga seperti yang ditunjuka Gambar 4.8



**Gambar 4. 8 Detail desain tangga**

Syarat perencanaan tangga:

- Sudut kemiringan tangga  
 $25^0 \leq \alpha \leq 40^0$   
 $25^0 \leq \arctan t/i \leq 40^0$   
 $25^0 \leq \arctan 17,5/28 \leq 40^0$   
 $25^0 < 32^0 < 40^0$  (**Okay**)
- Lebar injakan dan tinggi injakan  
 $60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm}$   
 $60 \text{ cm} \leq 2(17,5) + 28 \leq 65 \text{ cm}$   
 $60 \text{ cm} < 63 \text{ cm} < 65 \text{ cm}$  (**Okay**)
- Jumlah tanjakan  
 $Nt = \frac{\text{tinggi pelat lantai}}{t} = \frac{175}{17,5} = 10$
- Jumlah injakan  
 $Ni = Nt - 1 = 10 - 1 = 9$
- Tebal efektif pelat anak tangga ditunjukkan Gambar 4.9



**Gambar 4. 9** Tebal efektif pelat anak tangga

Dengan perbandingan sudut segitiga, maka:

$$\text{Luas } \Delta 1 = \frac{1}{2} \times i \times t = \frac{1}{2} \times 28 \times 17,5 = 245 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas } \Delta 2 &= \frac{1}{2} (\sqrt{i^2 + t^2}) \times d \\ &= \frac{1}{2} (\sqrt{28^2 + 17,5^2}) \times d \\ &= 16,51 \times d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persamaan } \Delta 1 : \Delta 2 &= 245 \text{ cm}^2 : 16,51 \times d \\ d &= 14,84 \text{ cm} \\ d/2 &= 7,42 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tebal efektif pelat =  $15 \text{ cm} + 7,42 \text{ cm} = 22,42 \text{ cm}$

Sehingga dari hasil perencanaan didapat tebal pelat tangga dan pelat bordes sebesar 15 cm dengan tebal efektif pelat anak tangga sebesar 22,42 cm.

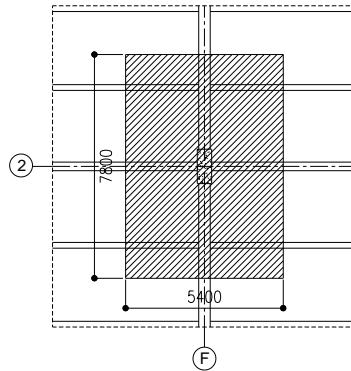
#### 4.4. Perencanaan Dimensi Kolom

Pada perencanaan ini, kolom diharapkan mampu memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan maksimum dari beban terfaktor. Pembebanan pada kolom menggunakan *tributari area* dengan asumsi kolom yang memikul beban terbesar berada pada tengah bangunan. Pembebanan sesuai dengan ASCE 7-10 dan SNI 1727:2013. Dimensi kolom akan dihitung setiap ketinggian 7 tingkat, sehingga dimensi yang didapat lebih ekonomis.

Data Perencanaan:

Bj beton		= $24 \text{ kN/m}^3$	
Tinggi lantai 1-2		= 4 m	
Tinggi lantai 2-50		= 3,5 m	
Tebal pelat		= 0,12 m	
Balok induk	(b)	= 0,3 m	= 0,4 m
	(h)	= 0,4 m	= 0,6 m
Balok anak	(b)	= 0,2 m	
	(h)	= 0,35 m	
Luas tributari	( $A_T$ )	= $5,4 \text{ m} \times 7,8 \text{ m}$	= $42,12 \text{ m}^2$
Beban hidup lantai	( $L_{01}$ )	= $1,92 \text{ kN/m}^2$	
Beban hidup atap	( $L_{02}$ )	= $0,96 \text{ kN/m}^2$	
Faktor beban hidup	( $K_{LL}$ )	= 4 (kolom – kolom interior)	

Denah kolom dan daerah tributari kolom yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 4.10.



**Gambar 4. 10 Daerah pembebanan kolom**

Beban mati lantai apartemen:

Pelat lantai	=	7,8	x	5,4	x	0,12	x	24	=	121,3	kN
Sus. Gypsum	=	7,8	x	5,4	x	1	x	0,48	=	20,2	kN
B. Induk 1	=	0,4	x	0,48	x	7,8	x	24	=	35,9	kN
B. Induk 2	=	0,3	x	0,28	x	5,4	x	24	=	10,9	kN
B. Anak	=	0,2	x	0,23	x	10,8	x	24	=	11,9	kN
Plaster	=	7,8	x	5,4	x	1	x	0,19	=	8,1	kN
Ceramic	=	7,8	x	5,4	x	1	x	1,1	=	46,4	kN
Mec. Ducting	=	7,8	x	5,4	x	1	x	0,24	=	10,1	kN
Total beban mati (DL)										=	264,76 kN

Beban mati lantai atap:

Pelat lantai	=	7,8	x	5,4	x	0,12	x	24	=	121,3	kN
Sus. Gypsum	=	7,8	x	5,4	x	1	x	0,48	=	20,2	kN
B. Induk 1	=	0,4	x	0,48	x	7,8	x	24	=	35,9	kN
B. Induk 2	=	0,3	x	0,28	x	5,4	x	24	=	10,9	kN
B. Anak	=	0,2	x	0,23	x	10,8	x	24	=	11,9	kN
Asphalt	=	7,8	x	5,4	x	1	x	1,44	=	60,5	kN
Mec. Ducting	=	7,8	x	5,4	x	1	x	0,24	=	10,1	kN
Total beban mati (DL)										=	270,81 kN

- Reduksi beban hidup pelat atap sesuai dengan SNI 1727:2013

Ps. 4.8.2, karena  $A_T = 42,12 \text{ m}^2$ , maka:

$$R_1 = 1,2 - 0,011 \cdot A_T = 1,2 - 0,011 \cdot 42,12 = 0,737$$

$$R_2 = 1$$

$$L_r = L_0 \times R_1 \times R_2 = 0,96 \times 0,737 \times 1 = 0,0707 \text{ kN/m}^2$$

Dimana:

$$0,58 \leq L_r \leq 0,96 \rightarrow 0,58 \leq 0,707 \leq 0,96$$

$$\text{Sehingga } L_r = 0,707 \text{ kN/m}^2$$

Jadi beban hidup atap:

$$0,707 \times 7,8 \times 5,4 = 29,79 \text{ kN/m}^2$$

- Reduksi beban hidup pelat lantai apartemen sesuai dengan SNI 1727:2013 Ps. 4.7.2, jika nilai  $K_{LL} \cdot A_T \geq 37,16 \text{ m}^2$  beban boleh direduksi. Maka:

$$4 \cdot 42,12 \geq 37,16 \text{ m}^2 \rightarrow 168,48 \text{ m}^2 > 37,16 \text{ m}^2 \text{ (boleh direduksi)}$$

$$\begin{aligned} L &= L_0 \left( 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL} \cdot A_T}} \right) \geq 0,4 \cdot L_0 \\ &= 1,92 \left( 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{4 \cdot 42,12}} \right) \geq 0,4 \cdot 1,92 \\ &= 1,16 \text{ kN/m}^2 > 0,768 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Jadi beban hidup lantai apartemen:

$$1,16 \times 7,8 \times 5,4 = 48,69 \text{ kN}$$

Perencanaan dimensi kolom:

- Kolom lantai 49

Kombinasi beban:

$$Q_u = 1,4 D = 1,4 \times 270,81 = 379,13 \text{ kN}$$

$$Q_u = 1,2 D + 1,6 L$$

$$= 1,2 \times 270,81 + 1,6 \times 29,79$$

$$= 372,63 \text{ kN}$$

$$Q_u \text{ menentukan} = 379,13 \text{ kN}$$

$f'_c$  pakai = 40 MPa

Didapat dimensi kolom:

$$A = \frac{P}{0,3 \times f'_c} = \frac{370262,69}{0,3 \times 40} = 30855,224 \text{ mm}^2$$

Digunakan kolom persegi panjang  $b \times h$ , maka:

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = \frac{A}{b} = \frac{30855,224}{500} = 61,71 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$$

- Kolom lantai 43

$$\text{Berat kolom L. 49 – 44: } 0,5 \times 0,5 \times 3,5 \times 24 \times 6 = 126 \text{ kN}$$

$$DL_{\text{Atap}} = 1 \times 270,81 = 270,81 \text{ kN}$$

$$DL_{\text{Lantai}} = 6 \times 264,76 + 126 = 1714,56 \text{ kN}$$

$$LL_{Atap} = 1 \times 29,79 = 29,79 \text{ kN}$$

$$LL_{Lantai} = 6 \times 48,69 = 292,14 \text{ kN}$$

Kombinasi beban:

$$Q_u = 1,4 D = 1,4 \times (270,81 + 1714,56) = 2779,518 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 D + 1,6 L \\ &= 1,2 \times 1985,37 + 1,6 \times (29,79 + 292,14) \\ &= 2897,53 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$Q_u \text{ menentukan} = 2897,53 \text{ kN}$$

$$f'_c \text{ pakai} = 40 \text{ MPa}$$

Didapat dimensi kolom:

$$A = \frac{P}{0,3 \times f'_c} = \frac{2897532}{0,3 \times 40} = 241461 \text{ mm}^2$$

Digunakan kolom persegi panjang b x h, maka:

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = \frac{A}{b} = \frac{241461}{500} = 482,922 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

Dengan cara yang sama, perhitungan dilakukan secara berulang hingga kolom lantai paling bawah. Sehingga didapat hasil seperti pada Tabel 4.2.

**Tabel 4. 2 Rekapitulasi dimensi kolom rencana**

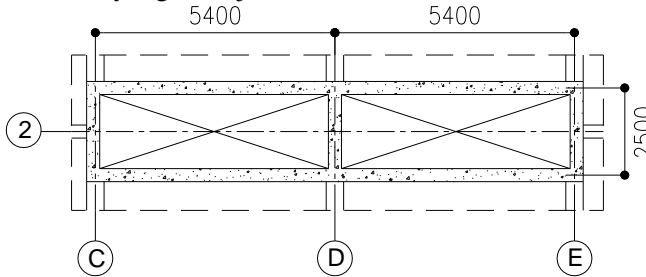
Kolom (Tingkat Lantai)			L (m)	f'c (MPa)	Interior		Exterior	
					b (mm)	h (mm)	b (mm)	h (mm)
1			4	50	800	1300	700	1200
2	-	8	3,5	50	700	1150	700	1200
9	-	15	3,5	50	600	1000	700	1100
16	-	22	3,5	50	500	900	700	1000
23	-	29	3,5	40	500	800	650	900
30	-	36	3,5	40	500	700	600	800
37	-	43	3,5	40	500	600	550	700
44	-	50	3,5	40	500	500	500	600

#### 4.5. Perencanaan Dimensi *Corewall* dan Balok *Outrigger*

Pada perencanaan ini *corewall* diasumsikan sebagai elemen *shearwall* sedangkan balok *outrigger* didesain menggunakan balok tinggi.

#### 4.5.1. Perencanaan Dimensi *Shearwall*

Perencanaan tebal *shearwall* mengacu pada SNI 2847:2013 Ps. 22.6.6.2. Dimana asumsi awal tebal *shearwall* adalah 300 mm dengan denah yang ditunjukkan oleh Gambar 4.11.



**Gambar 4. 11 Desain *shearwall* yang ditinjau**

Dari Gambar 4.11 maka dapat direncanakan:

Tebal = 300 mm (asumsi awal)  
 Bentang = 5400 mm (menentukan)  
 Tinggi = 4000 mm

- $300 \text{ mm} > \frac{H}{24}$   
 $300 \text{ mm} > \frac{4000}{24}$   
 $300 \text{ mm} > 166,67 \text{ mm}$
- $300 \text{ mm} > \frac{L}{24}$   
 $300 \text{ mm} > \frac{5400}{24}$   
 $300 \text{ mm} > 225 \text{ mm}$

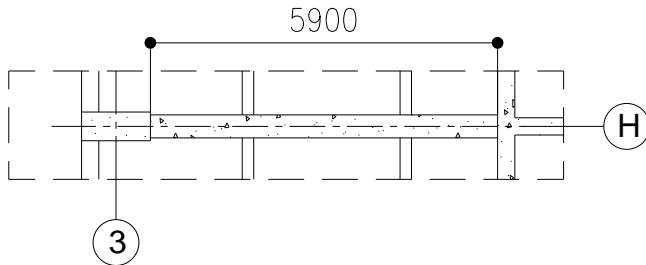
- Dan tidak boleh kurang dari 140 mm

Jadi tebal *shearwall* sebesar 300 mm telah memenuhi syarat SNI 2847:2013 Ps. 22.6.6.2.

#### 4.5.2. Perencanaan Dimensi Balok Tinggi

Balok tinggi berfungsi menghubungkan *corewall* dan kolom eksterior, dimana desain balok tinggi harus sesuai dengan yang tercantum pada SNI 2847:2013 Ps. 10.7.1. Denah balok tinggi yang ditinjau ditunjukkan oleh Gambar 4.12.





**Gambar 4. 12 Balok tinggi yang ditinjau**

Dari Gambar 4.12 maka dapat direncanakan:

Tinggi (h) = 2000 mm

Bentang bersih (ln) = 6300 mm

Jarak beban terpusat (l) = - mm

Harus memenuhi salah satu syarat:

- **$5900 \text{ mm} \leq 4 \cdot 2000$**
- $5900 \text{ mm} \leq 4 \cdot 2000 \text{ mm}$**
- $5900 \text{ mm} < 8000 \text{ mm}$**

Jadi balok tinggi dengan tinggi 2000 mm telah memenuhi syarat SNI 03-2847-2013 pasal 10.7.1.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **STRUKTUR SEKUNDER**

#### **5.1. Perencanaan Struktur Sekunder**

Pada tahap ini, elemen struktur didesain memikul beban ultimit tanpa memikul beban gempa atau bisa disebut elemen struktur sekunder. Dimana kombinasi beban yang harus dipikul sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 4.2.2 tentang beban terfaktor (ultimit):

- $Q_u = 1,4D$
- $Q_u = 1,4D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$

Perencanaan struktur sekunder meliputi pelat, tangga, balok anak, dan balok lift. Semua metode dan syarat desain mengacu pada SNI 2847:2013.

#### **5.2. Perencanaan Pelat**

Pada bangunan ini terdapat dua macam tipe pelat, yaitu pelat lantai (tipe S1) dan pelat atap (tipe S2).

##### **5.2.1. Pelat Lantai**

Pelat lantai 1-49 pada bangunan ini memiliki dimensi yang sama (tipikal). Berikut ini adalah data – data yang digunakan dalam perencanaan pelat:

Tebal pelat (h)	: 120 mm
Decking	: 20 mm (SNI 2847:2013 Ps.7.7.1)
Mutu beton ( $f'_c$ )	: 30 Mpa
$\beta_1$	: $0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7}$ (SNI 2847:2013 Ps.10.2.7.3) : $0,85 - 0,05 \frac{30 - 28}{7}$ : 0,836
Tulangan ulir ( $f_y$ )	: 420 Mpa
Tulangan polos ( $f_y$ )	: 240 Mpa



- Beban Hidup (LL) (SNI 1727:2013 4.7.2)  
 Beban hidup ( $L_o$ ) =  $1,92 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 1,92 \text{ kN/m}$   
 Luas tributari ( $A_t$ ) =  $5,4 \times 2,75 = 14,85 \text{ m}^2$   
 $K_{LL}$  = 1 (pelat lantai dua arah)  
 $K_{LL} \cdot A_t$  =  $1 \times 14,85 = 14,85 \text{ m}^2$   
 Karena  $14,85 \text{ m}^2 < 37,16 \text{ m}^2$ , maka beban hidup tidak boleh direduksi.  $q_{LL} = 1,92 \text{ kN/m}$
- Kombinasi Beban ( $Q_u$ )  
 Tiap satu meter:  
 $Q_u = 1,4D = 1,4 \cdot 4,89 = 6,847 \text{ kN/m}$   
 $Q_u = 1,2D + 1,6L = 1,2 \cdot 4,89 + 1,6 \cdot 1,92 = 8,94 \text{ kN/m}$

### **Koefisien momen:**

Karena  $\alpha m = 9,202 > 1,875$  maka pelat dianggap terjepit penuh pada tiap sisinya (Wang dan Salmon).

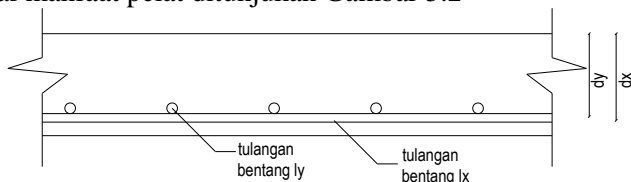
Sehingga didapat koefisien momen sesuai dengan PBI 1971 13.3.1:

- $M_{tux} = 0,001 \times q \times Lx^2 \times 83$
- $M_{lux} = 0,001 \times q \times Lx^2 \times 40$
- $M_{tuy} = 0,001 \times q \times Ly^2 \times 57$
- $M_{luy} = 0,001 \times q \times Ly^2 \times 12$

### **Penulangan pelat:**

- Momen yang terjadi  
 $M_{tux} = 0,001 \times 8,94 \times 2,55^2 \times 83 = 4,83 \text{ kNm}$   
 $M_{lux} = 0,001 \times 8,94 \times 2,55^2 \times 40 = 2,33 \text{ kNm}$   
 $M_{tuy} = 0,001 \times 8,94 \times 2,55^2 \times 57 = 3,31 \text{ kNm}$   
 $M_{luy} = 0,001 \times 8,94 \times 2,55^2 \times 12 = 0,69 \text{ kNm}$

- Tebal manfaat pelat ditunjukkan Gambar 5.2



**Gambar 5. 2 Tebal manfaat pelat lantai**

Dari gambar 5.2 sehingga didapat nilai:

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - D/2 & d' &= h - \text{decking} - D - \emptyset/2 \\ &= 120 - 20 - 10/2 & &= 120 - 20 - 10 - 8/2 \\ &= 95 \text{ mm} & &= 86 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Tumpuan  $M_{tux}$**

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (jd)}$$

Pada pelat, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,95d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 4,83 \text{ kNm} \rightarrow 4825606,793 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,95d)}$$

$$A_s \geq \frac{4825606,793}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,95 \cdot 95)}$$

$$A_s \geq 141,45 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{141,45 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 2,33 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,33}{0,836} = 2,79 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \cdot 95 = 35,63 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375dt \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$2,79 \text{ mm} < 35,63 \text{ mm} \text{ (asumsi awal benar)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{4825606,793}{0,9 \cdot 420 \left(95 - \frac{2,33}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 136,05 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{136,05}{1000 \cdot 95} = 0,0014$$

Cek syarat kebutuhan tulangan:

$$\rho_{\min} = 0,0018 \text{ (SNI 2847:2013 Ps.7.12.2.1)}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \text{ (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)} \\
 &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,022
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0018 > 0,0014 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  maka gunakan  $A_{s\min}$

$$A_{s\min} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0018 \cdot 1000 \cdot 95 = 171 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak tulangan:

(SNI 2847:2013 Ps.7.6.5)

(SNI 2847:2013 Ps.13.3.2)

$$S < 3 \cdot hf$$

$$S < 2 \cdot hf$$

$$S < 450 \text{ mm}$$

Yang menentukan adalah  $2 \cdot hf = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm}$

Menentukan jumlah tulangan terpasang:

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s\text{ perlu}}}{A_{s\text{ tulangan}}} = \frac{171}{78,54} = 2,177 \approx 3 \text{ buah}$$

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{N-1} = \frac{1000}{3-1} = 500 \text{ mm} > 240 \text{ mm (Not Okay)}$$

Karena jarak tulangan tidak memenuhi, maka digunakan tulangan dengan jarak maksimum 240 mm.

$$N_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pasang}}}{S_{\text{pasang}}} = \frac{1000 + 240}{240} = 5,17 \approx 6 \text{ buah}$$

Cek:

$$A_{s\text{ pasang}} \geq A_{s\text{ perlu}}$$

$$6 \cdot 78,54 \geq 171$$

$$471,24 \text{ mm}^2 > 171 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)}$$

Sehingga digunakan tulangan **D10 – 240**

Tulangan pembagi (susut dan suhu)

$$\rho = 0,0014 \text{ (SNI 03-2847-2013 Ps.7.12.2.1)}$$

$$A_{s\text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0014 \cdot 1000 \cdot 95 = 133 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak tulangan:

(SNI 2847:2013 Ps.7.12.2.2)

$$S < 5 \cdot hf$$

$$S < 450 \text{ mm}$$

Yang menentukan adalah 450 mm

Menentukan jumlah tulangan terpasang:

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{133}{50,27} = 2,65 \approx 3 \text{ buah}$$

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{N-1} = \frac{1000}{3-1} = 500 \text{ mm} > 450 \text{ mm (Not Okay)}$$

Karena jarak tulangan tidak memenuhi, maka digunakan tulangan dengan jarak 300 mm.

$$N_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pasang}}}{S_{\text{pasang}}} = \frac{1000 + 300}{300} = 4,3 \approx 5 \text{ buah}$$

Cek:

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$$

$$5 \cdot 50,27 \geq 133$$

$$251,33 \text{ mm}^2 > 133 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)}$$

Sehingga digunakan tulangan  $\emptyset 8 - 300$

- **Lapangan Mlux**

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j d)}$$

Pada pelat, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,95d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 2,33 \text{ kNm} \rightarrow 2325593,64 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,95d)}$$

$$A_s \geq \frac{2325593,64}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,95 \cdot 95)}$$

$$A_s \geq 68,17 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f' c \cdot b} = \frac{68,17 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 1,12 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1,12}{0,836} = 1,34 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \cdot 95 = 35,63 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375dt \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$



$$1,34 \text{ mm} < 35,63 \text{ mm} \text{ (asumsi awal benar)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{2325593,64}{0,9 \cdot 420 \left(95 - \frac{1,12}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 65,147 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{65,147}{1000 \cdot 95} = 0,0007$$

Cek syarat kebutuhan tulangan:

$$\rho_{\min} = 0,0018 \text{ (SNI 2847:2013 Ps.7.12.2.1)}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \text{ (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0,022$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0018 > 0,0007 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  maka gunakan  $A_{s \min}$

$$A_{s \min} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0018 \cdot 1000 \cdot 95 = 171 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak tulangan:

$$\text{(SNI 2847:2013 Ps.7.6.5)}$$

$$\text{(SNI 2847:2013 Ps.13.3.2)}$$

$$S < 3 \cdot hf$$

$$S < 2 \cdot hf$$

$$S < 450 \text{ mm}$$

$$\text{Yang menentukan adalah } 2 \cdot hf = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm}$$

Menentukan jumlah tulangan terpasang:

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{171}{78,54} = 2,177 \approx 3 \text{ buah}$$

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{N-1} = \frac{1000}{3-1} = 500 \text{ mm} > 240 \text{ mm (Not Okay)}$$

Karena jarak tulangan tidak memenuhi, maka digunakan tulangan dengan jarak maksimum 240 mm.

$$N_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pasang}}}{S_{\text{pasang}}} = \frac{1000 + 240}{240} = 5,17 \approx 6 \text{ buah}$$

Cek:

$$A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ perlu}}$$

$$6 \cdot 78,54 \geq 171$$

$$471,24 \text{ mm}^2 > 171 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)}$$

Sehingga digunakan tulangan **D10 – 240**

- **Tumpuan Mtuy**

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j_d)}$$

Pada pelat, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan  $0,95d$  (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 3,31 \text{ kNm} \rightarrow 3313970,93 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,95d)}$$

$$A_s \geq \frac{3313970,93}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,95 \cdot 86)}$$

$$A_s \geq 107,31 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c,b}} = \frac{107,31 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 1,77 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1,77}{0,836} = 2,11 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \cdot 86 = 32,25 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375dt \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$2,11 \text{ mm} < 32,25 \text{ mm} \text{ (asumsi awal benar)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{3313970,93}{0,9 \cdot 420 \left(86 - \frac{1,77}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 103 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{A_{s\ perlu}}{b \cdot d} = \frac{103}{1000 \cdot 86} = 0,0012$$

Cek syarat kebutuhan tulangan:

$$\rho_{min} = 0,0018 \text{ (SNI 2847:2013 Ps.7.12.2.1)}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \text{ (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)} \\
 &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,022
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0018 > 0,0013 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  maka gunakan  $A_{s\min}$

$$A_{s\min} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0018 \cdot 1000 \cdot 86 = 155 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak tulangan:

$$\text{(SNI 2847:2013 Ps.7.6.5)} \qquad \text{(SNI 2847:2013 Ps.13.3.2)}$$

$$S < 3 \cdot hf$$

$$S < 2 \cdot hf$$

$$S < 450 \text{ mm}$$

Yang menentukan adalah  $2 \cdot hf = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm}$

Menentukan jumlah tulangan terpasang:

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{155}{78,54} = 1,97 \approx 2 \text{ buah}$$

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{N-1} = \frac{1000}{2-1} = 1000 \text{ mm} > 240 \text{ mm (Not Okay)}$$

Karena jarak tulangan tidak memenuhi, maka digunakan tulangan dengan jarak maksimum 240 mm.

$$N_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pasang}}}{S_{\text{pasang}}} = \frac{1000 + 240}{240} = 5,17 \approx 6 \text{ buah}$$

Cek:

$$A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ perlu}}$$

$$6 \cdot 78,54 \geq 155$$

$$471,24 \text{ mm}^2 > 155 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)}$$

Sehingga digunakan tulangan **D10 - 240**

Tulangan pembagi (susut dan suhu)

$$\rho = 0,0014 \text{ (SNI 2847:2013 Ps.7.12.2.1)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0014 \cdot 1000 \cdot 86 = 120,4 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak tulangan:

$$\text{(SNI 2847:2013 Ps.7.12.2.2)}$$

$$S < 5 \cdot hf$$

$$S < 450 \text{ mm}$$

Yang menentukan adalah 450 mm

Menentukan jumlah tulangan terpasang:

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{120,4}{50,27} = 2,39 \approx 3 \text{ buah}$$

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{N-1} = \frac{1000}{3-1} = 500 \text{ mm} > 450 \text{ mm (Not Okay)}$$

Karena jarak tulangan tidak memenuhi, maka digunakan tulangan dengan jarak 300 mm.

$$N_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pasang}}}{S_{\text{pasang}}} = \frac{1000 + 300}{300} = 4,3 \approx 5 \text{ buah}$$

Cek:

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$$

$$5 \cdot 50,27 \geq 120,4$$

$$251,33 \text{ mm}^2 > 120,4 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)}$$

Sehingga digunakan tulangan  $\emptyset 8 - 300$

- **Lapangan Mluy**

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j \cdot d)}$$

Pada pelat, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,95d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 03-2847-2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 0,69 \text{ kNm} \rightarrow 697678,09 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,95d)}$$

$$A_s \geq \frac{2325593,64}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,95 \cdot 86)}$$

$$A_s \geq 22,59 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c \cdot b}} = \frac{22,59 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 0,37 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{0,37}{0,836} = 0,44 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \cdot 86 = 32,25 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375dt \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$0,44 \text{ mm} < 35,25 \text{ mm} \text{ (asumsi awal benar)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{697678,09}{0,9 \cdot 420 \left(86 - \frac{0,37}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 21,51 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{21,51}{1000 \cdot 95} = 0,0003$$

Cek syarat kebutuhan tulangan:

$$\rho_{\min} = 0,0018 \text{ (SNI 2847:2013 Ps.7.12.2.1)}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \text{ (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0,022$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0018 > 0,0003 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$  maka gunakan  $A_{s \min}$

$$A_{s \min} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0018 \cdot 1000 \cdot 86 = 155 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak tulangan:

$$\text{(SNI 2847-2013 Ps.7.6.5)} \qquad \text{(SNI 2847-2013 Ps.13.3.2)}$$

$$S < 3 \cdot hf$$

$$S < 2 \cdot hf$$

$$S < 450 \text{ mm}$$

Yang menentukan adalah  $2 \cdot hf = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm}$

Menentukan jumlah tulangan terpasang:

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{155}{78,54} = 1,97 \approx 2 \text{ buah}$$

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{N-1} = \frac{1000}{2-1} = 1000 \text{ mm} > 240 \text{ mm (Not Okay)}$$

Karena jarak tulangan tidak memenuhi, maka digunakan tulangan dengan jarak maksimum 240 mm.

$$N_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pasang}}}{S_{\text{pasang}}} = \frac{1000 + 240}{240} = 5,17 \approx 6 \text{ buah}$$

Cek:

$$A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ perlu}}$$

$$6 \cdot 78,54 \geq 155$$

$$471,24 \text{ mm}^2 > 155 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)}$$

Sehingga digunakan tulangan **D10 – 240**

- Kontrol ketebalan pelat terhadap geser

Berdasarkan (SNI 2847:2013 Ps.8.3.3), nilai  $V_u$  adalah:

$$V_u = \frac{Q_u \cdot l_n}{2} = \frac{894,12 \cdot 5}{2} = 2235,3 \text{ Kg}$$

Dengan mengasumsikan material yang digunakan beton normal  $\lambda = 1$  (SNI 2847:2013 Ps.8.6.1), maka nilai  $V_c$  berdasarkan (SNI 2847:2013 Ps.11.2.1.1), adalah:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 95 \\ &= 88457 \text{ N} \rightarrow 9020 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Faktor reduksi  $\phi = 0,75$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.3)

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 9020 = 6765 \text{ Kg}$$

Cek:

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$6765 \text{ Kg} > 2235,3 \text{ Kg} \text{ (tebal memenuhi syarat geser)}$$

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Spasi tulangan terdekat ke muka tarik,  $S$ , tidak boleh melebihi yang ditentukan pada (SNI 2847:2013 Ps.10.6.4):

$$S = 380 \cdot \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \cdot C_c$$

tetapi tidak lebih besar dari

$$S = 300 \cdot \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} C_c &= \text{Jarak terkecil permukaan tulangan ke muka tarik} \\ &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$f_s = \frac{2}{3} \cdot f_y = \frac{2}{3} \cdot 420 = 280 \text{ Mpa}$$

Maka:

$$S = 380 \cdot \left( \frac{280}{280} \right) - 2,5 \cdot 20 = 330 \text{ mm} > 240 \text{ mm (Okay)}$$

dan tidak lebih dari

$$S = 300 \cdot \left( \frac{280}{280} \right) = 300 \text{ mm} > 240 \text{ mm (Okay)}$$

- Kontrol lendutan

Menurut tabel 9.5 (b) pada (SNI 2847:2013 Ps.9.5.3.1) lendutan seketika yang diizinkan pada pelat lantai adalah:

$$\delta_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{255}{360} = 0,708 \text{ cm}$$

$$Q_{ijin} = 1DL + 1LL = 1 \cdot 4,89 + 1 \cdot 1,92 = 607,78 \text{ Kg/m}$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'c} = 4700 \cdot \sqrt{30} = 25742,96 \text{ N/mm}^2$$

$$I_g = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 100 \cdot 12^3 = 14400 \text{ cm}^4$$

$$y_t = h/2 = 120/2 = 60 \text{ mm}$$

$$f_r = 0,62 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} = 0,62 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} = 3,4$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,4 \cdot 14400000}{60} = 8160000 \text{ Nmm}$$

$$M_a = 4851714,859 \text{ Nmm}$$

Karena  $M_a < M_{cr}$ , maka inersia yang digunakan adalah inersia penampang kontor ( $I_g$ ). Dengan mengasumsikan perletakan sederhana, lendutan seketika yang terjadi:

$$\delta = \left( \frac{5}{384} \right) \cdot \left( \frac{Q \cdot L^4}{EI} \right) = \left( \frac{5}{384} \right) \cdot \left( \frac{6,078 \cdot 247,5^4}{25742,96 \cdot 14400} \right) = 0,801 \text{ cm}$$

Cek:

$$\delta \leq \delta_{ijin}$$

$$0,08 \text{ cm} < 0,708 \text{ cm} \text{ (Oke)}$$

- Rekapitulasi perhitungan pelat

Dari perencanaan di atas, didapat rekapitulasi hasil perhitungan pelat seperti pada Tabel 5.1.

**Tabel 5. 1 Rekapitulasi hasil perhitungan pelat lantai**

	Tumpuan X	Lapangan X	Tumpuan Y	Lapangan Y
Tebal pelat (mm)	120	120	120	120
$M_u$ (Nmm)	4825606,79	2325593,64	33133970,93	697678,09
$A_s$ awal (mm <sup>2</sup> )	141,45	68,170	107,309	22,591
a (mm)	2,33	1,12	1,77	0,372
c (mm)	2,79	1,34	2,11	0,44
0,375 dt (mm)	35,63	35,63	32,25	32,25
Kondisi penampang	tension controlled	tension controlled	tension controlled	tension controlled
$A_s$ perlu (mm <sup>2</sup> )	136,05	65,15	103,00	21,51

**Tabel 5. 1 Rekapitulasi hasil perhitungan pelat lantai  
(Lanjutan)**

	Tumpuan X	Lapangan X	Tumpuan Y	Lapangan Y
$\phi_{perlu}$	0,0014	0,007	0,0012	0,0003
$\phi_{min}$	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018
$\phi_{max}$	0,022	0,022	0,022	0,022
$A_s \text{ min (mm}^2\text{)}$	171	171	154,8	154,8
$A_s \text{ pasang (mm}^2\text{)}$	471,24	471,24	471,24	471,24
Tulangan utama	D10 - 240	D10 - 240	D10 - 240	D10 - 240
Tulangan bagi	Ø8 - 300	-	Ø8 - 300	-

### 5.2.2. Pelat Atap

Pelat atap pada bangunan ini tipikal dengan pelat lantai, sehingga secara umum untuk desain dan analisisnya sama dengan pelat lantai, yang membedakan hanya pada pembebanan.

#### **Pembebanan pelat:**

Perencanaan beban pelat sesuai dengan ASCE 7-10 untuk beban mati dan SNI 1727:2013 untuk beban hidup.

- **Beban Mati (DL)**

Berat sendiri	=	0,12	x	24	x	1	=	2,88	kN/m
Aphalt (2-in)	=	1	x	1,44	x	1	=	1,44	kN/m
Sus. Gypsum	=	1	x	0,48	x	1	=	0,48	kN/m
Mec. Duct	=	1	x	0,24	x	1	=	0,24	kN/m
Total beban mati (qDL)								=	5,03 kN/m

- **Beban Hidup (LL) (SNI 1727:2013 4.8.2)**

$$\text{Beban hidup (L}_o\text{)} = 0,96 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 0,96 \text{ kN/m}$$

$$\text{Luas tributari (A}_t\text{)} = 5,4 \times 2,75 = 14,85 \text{ m}^2$$

$$R_1 = 1$$

$$R_2 = 1$$

$$L_r = L_o \times R_1 \times R_2 = 0,96 \times 1 \times 1 = 0,96$$

$$\text{Dimana } 0,58 \leq L_r \leq 0,96 \rightarrow 0,58 \leq 0,96 \leq 0,96$$

$$\text{Maka } L_r = 0,96 \text{ kN/m}^2$$



- Kombinasi Beban ( $Q_u$ )

Tiap satu meter:

$$Q_u = 1,4D = 1,4 \cdot 5,03 = 7,05 \text{ kN/m}$$

$$Q_u = 1,2D + 1,6L = 1,2 \cdot 5,03 + 1,6 \cdot 0,96 = 7,58 \text{ kN/m}$$

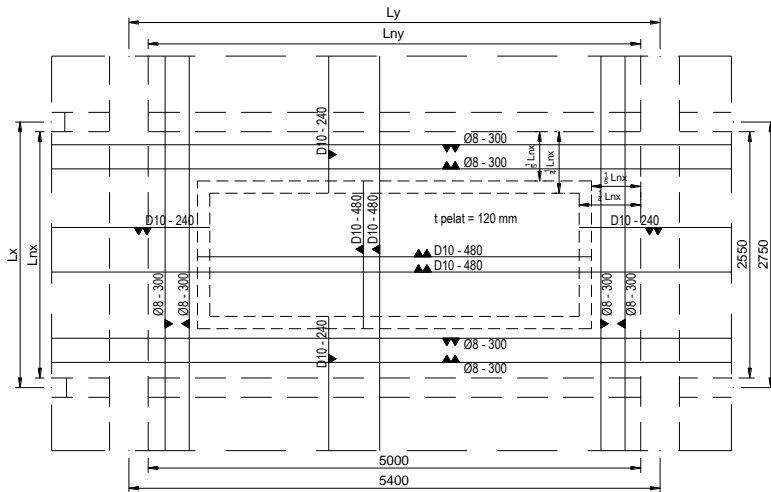
Maka dengan cara perhitungan yang sama dengan perhitungan tulangan pelat lantai, didapat hasil seperti pada Tabel 5.2.

**Tabel 5. 2 Rekapitulasi hasil perhitungan pelat atap**

	Tumpuan X	Lapangan X	Tumpuan Y	Lapangan Y
Tebal pelat (mm)	120	120	120	120
$M_u$ (Nmm)	4089644,37	1970912,95	2808550,96	591273,89
$A_s$ awal (mm <sup>2</sup> )	119,88	57,77	90,94	19,15
a (mm)	1,97	0,95	1,50	0,32
c (mm)	2,36	1,14	1,79	0,38
0,375 dt (mm)	35,63	35,63	32,25	32,25
Kondisi penampang	<i>tension controlled</i>	<i>tension controlled</i>	<i>tension controlled</i>	<i>tension controlled</i>
$A_s$ perlu (mm <sup>2</sup> )	115,08	55,16	87,15	18,22
$\rho$ perlu	0,0012	0,0006	0,0010	0,0002
$\rho_{min}$	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018
$\rho_{max}$	0,022	0,022	0,022	0,022
$A_s$ min (mm <sup>2</sup> )	171	171	154,8	154,8
$A_s$ pasang (mm <sup>2</sup> )	471,24	471,24	471,24	471,24
Tulangan utama	D10 - 240	D10 - 240	D10 - 240	D10 - 240
Tulangan bagi	Ø8 - 300	-	Ø8 - 300	-

### 5.2.3. Sketsa Penulangan Pelat

Dari hasil perhitungan tulangan pelat lantai dan pelat atap, didapat diameter dan jarak tulangan yang sama. Sehingga hasil perencanaan dapat dituangkan dalam bentuk gambar seperti pada Gambar 5.3.



**Gambar 5. 3 Sketsa penulangan pelat lantai & pelat atap**

### 5.3. Perencanaan Balok

Pada bangunan ini terdapat dua macam balok sekunder, yaitu balok anak dan balok lift.

#### 5.3.1. Balok Anak

Balok anak berfungsi untuk membagi luasan dari pelat lantai dan memikul beban dinding di atasnya. Karena semua balok anak memiliki bentang yang sama, maka balok anak direncanakan tipikal dengan data – data perencanaan sebagai berikut:

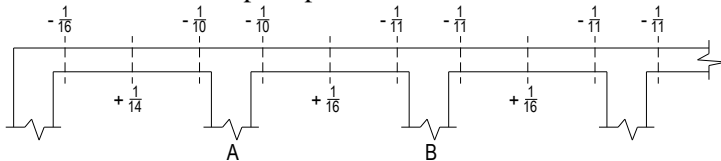
Tipe balok	: BA
Bentang balok	: 540 cm
Jarak antar balok	: 275 cm
Dimensi balok (b)	: 20 cm
(h)	: 35 cm
Ø tulangan (lentur)	: 16 mm $\rightarrow A_s = 201,06 \text{ mm}^2$
(geser)	: 10 mm $\rightarrow A_s = 78,54 \text{ mm}^2$
Mutu tul.(lentur) $f_y$	: 420 Mpa
(geser) $f_y$	: 420 Mpa



- Beban pelat lantai (dari bab 5.2.1)  
 $q_{\text{plat}} = 8,94 \text{ kN/m}^2$   
 $q_{\text{plat (trapesium)}} = \frac{1}{2} \times q_{\text{plat}} \times l_x \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{l_x^2}{l_y^2}\right)$   
 $= \frac{1}{2} \times 8,94 \times 2,75 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{2,75^2}{5,4^2}\right)$   
 $= 32,19 \text{ kN/m}$
- Beban dinding (ASCE 7-10)  
 $q_{\text{dinding}} = b_j \times h = 2,3 \text{ kN/m}^2 \times 3,5 \text{ m} = 8,04 \text{ kN/m}$
- Berat sendiri balok anak  
 $q_{\text{balok}} = b \times h \times b_j = 0,2 \times 0,35 \times 24 = 1,68 \text{ kN/m}$
- Berat total yang dipikul balok anak  
 $q_{\text{tot}} = 2 \times q_{\text{trap}} + q_{\text{dinding}} + q_{\text{balok}}$   
 $= 2 \times 11,23 + 8,04 + 1,68$   
 $= 32,19 \text{ kN/m}$

### **Momen pada balok anak:**

Koefisien momen pada balok anak sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2013 Ps. 8.3.3 seperti pada Gambar 5.6.



**Gambar 5. 6 Koefisien momen pada balok anak**

Perhitungan momen pada balok anak:

- $L_n$  = bentang bersih balok  
 $= 540 \text{ cm} - (2 \times (1/2 \times 40 \text{ cm}))$   
 $= 500 \text{ cm} \rightarrow 5 \text{ m}$
- Momen pada tumpuan A  
 $M_a = \frac{1}{10} \times q \times l_n^2 = \frac{1}{10} \times 32,19 \times 5^2 = 80,47 \text{ kNm}$
- Momen pada lapangan A-B  
 $M_{a-b} = \frac{1}{16} \times q \times l_n^2 = \frac{1}{16} \times 32,19 \times 5^2 = 50,29 \text{ kNm}$

- Momen pada tumpuan B

$$M_b = \frac{1}{11} \times q \times l_n^2 = \frac{1}{11} \times 32,19 \times 5^2 = 73,15 \text{ kNm}$$

- Geser

$$V_u = \frac{q \times l_n}{2} = \frac{32,19 \times 5}{2} = 80,47 \text{ kN}$$

### **Perhitungan tulangan:**

- ***Tumpuan A***

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j_d)}$$

Pada pelat, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,9d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 80,47 \text{ kNm} \rightarrow 80466004,78 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{80466004,78}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 292)}$$

$$A_s \geq 810,2 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c,b}} = \frac{810,02 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 200} = 66,71 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{66,71}{0,836} = 79,82 \text{ mm}$$

$$0,375d = 0,375 \cdot 292 = 109,5 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375d \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$79,81 \text{ mm} < 109,5 \text{ mm} \text{ (asumsi awal benar)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{80466004,78}{0,9 \cdot 420 \left(292 - \frac{66,71}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 823,03 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{A_{s\text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{823,03}{200 \cdot 292} = 0,0141$$

Cek syarat kebutuhan tul:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$$\begin{aligned}
 A_{smin} &= \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} x b_w x d & A_{smin} &= \frac{1,4}{f_y} x b_w x d \\
 &= \frac{1,37}{420} x 200 x 292 & &= \frac{1,4}{420} x 200 x 292 \\
 &= 190,4 \text{ mm}^2 & &= 194,67 \text{ mm}^2 \\
 \rho_{min} &= \frac{A_{smin}}{b x d} & \rho_{min} &= \frac{A_{smin}}{b x d} \\
 &= \frac{190,4}{200 x 292} & &= \frac{194,67}{200 x 292} \\
 &= 0,0032 & &= 0,0033
 \end{aligned}$$

Yang menentukan adalah  $\rho_{min} = 0,0033$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 x \rho_b \\
 &= 0,75 x \frac{0,85 x \beta_1 x f'_c}{f_y} x \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 x \frac{0,85 x 0,836 x 30}{420} x \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,022
 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max} \rightarrow 0,0033 < 0,0141 < 0,022$$

Karena  $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$  maka gunakan  $A_{sperlu} = 823,03 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$N_{tul} = \frac{A_{sperlu}}{A_{stul}} = \frac{823,03}{201,06} = 4,09 \approx 5 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 02847:2013 Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 2 lapis, lapis pertama 3 buah dan lapis kedua 2 buah, maka:

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_w - 2s - N \cdot D - 2 \cdot D}{N - 1} \geq 25 \text{ mm} \\
 S &= \frac{200 - 2 \cdot 40 - 3 \cdot 16 - 2 \cdot 10}{3 - 1} \geq 25 \text{ mm} \\
 S &= 26 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}
 \end{aligned}$$

→ Maka dipakai tulangan **5 D16**

### • *Lapangan A-B*

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j_d)}$$

Pada balok, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,9d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 50,29 \text{ kNm} \rightarrow 50291252,99 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{50291252,99}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 292)}$$

$$A_s \geq 506,26 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{506,26 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 200} = 41,69 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{41,69}{0,836} = 49,89 \text{ mm}$$

$$0,375d = 0,375 \cdot 292 = 109,5 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375d \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$49,89 \text{ mm} < 109,5 \text{ mm} \text{ (*asumsi awal benar*)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{50291252,99}{0,9 \cdot 420 \left(292 - \frac{41,69}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 490,66 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{A_{s\text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{490,66}{200 \cdot 292} = 0,0084$$

Cek syarat kebutuhan tul:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$$A_{s\min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1,37}{420} \times 200 \times 292$$

$$= 190,4 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{A_{s\min}}{b \times d}$$

$$= \frac{190,4}{200 \times 292}$$

$$= 0,0032$$

$$A_{s\min} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1,4}{420} \times 200 \times 292$$

$$= 194,67 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{A_{s\min}}{b \times d}$$

$$= \frac{194,67}{200 \times 292}$$

$$= 0,0033$$

Yang menentukan adalah  $\rho_{\min} = 0,0033$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,022\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0033 < 0,0084 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $A_{s\text{perlu}} = 490,66 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$N_{tul} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tul}}} = \frac{490,66}{201,06} = 2,44 \approx 3 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013 Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 1 lapis sebanyak 3 buah, maka:

$$\begin{aligned}S &= \frac{b_w - 2s - N \cdot D - 2 \cdot D}{\frac{N-1}{3-1}} \geq 25 \text{ mm} \\ S &= \frac{200 - 2 \cdot 40 - 3 \cdot 16 - 2 \cdot 10}{3-1} \geq 25 \text{ mm} \\ S &= 26 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}\end{aligned}$$

→ Maka dipakai tulangan **3 D16**

### • **Tumpuan B**

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j_d)}$$

Pada balok, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,9d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 73,15 \text{ kNm} \rightarrow 73150913,44 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}A_s &\geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)} \\ A_s &\geq \frac{73150913,44}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 292)} \\ A_s &\geq 736,38 \text{ mm}^2\end{aligned}$$



Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{736,38 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 200} = 60,64 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{60,64}{0,836} = 72,56 \text{ mm}$$

$$0,375d = 0,375 \cdot 292 = 109,5 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375d \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$72,56 \text{ mm} < 109,5 \text{ mm} \text{ (*asumsi awal benar*)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{73150913,44}{0,9 \cdot 420 \left(292 - \frac{60,64}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 739,54 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{739,54}{200 \cdot 292} = 0,0127$$

Cek syarat kebutuhan tul:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d & A_{s \min} &= \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \\ &= \frac{1,37}{420} \times 200 \times 292 & &= \frac{1,4}{420} \times 200 \times 292 \\ &= 190,4 \text{ mm}^2 & &= 196,67 \text{ mm}^2 \\ \rho_{\min} &= \frac{A_{s \min}}{b \times d} & \rho_{\min} &= \frac{A_{s \min}}{b \times d} \\ &= \frac{190,4}{200 \times 292} & &= \frac{196,67}{200 \times 292} \\ &= 0,0032 & &= 0,0033 \end{aligned}$$

Yang menentukan adalah  $\rho_{\min} = 0,0033$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,022 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0034 < 0,0127 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $A_{s \text{ perlu}} = 739,54 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$N_{tul} = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{tul}}} = \frac{739,54}{201,06} = 3,68 \approx 5 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 2 lapis, lapis pertama 3 buah dan lapis kedua 2 buah, maka:

$$S = \frac{b_w - 2s - N.D - 2.D}{N-1} \geq 25 \text{ mm}$$

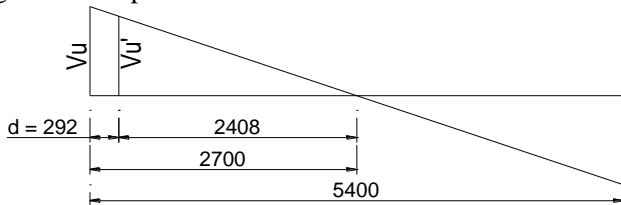
$$S = \frac{200 - 2.40 - 3.16 - 2.10}{3-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 26 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}$$

➔ Maka dipakai tulangan **5 D16**

- **Tulangan geser**

Bidang geser yang terjadi pada balok anak seperti yang digambarkan pada Gambar 5.7.



**Gambar 5. 7 Bidang geser pada balok anak**

$$V_u = 80,47 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_u' &= \frac{V_u}{0,5 \times l_n} \times 0,5 \cdot l_n - d \\ &= \frac{80,47}{0,5 \times 5000} \times 0,5 \cdot 5000 - 292 \\ &= 71,07 \text{ kN} \rightarrow 71068 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser beton: (SNI 2847:2013 Ps.(11.2.1.1))

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 200 \times 292 \\ &= 54378 \text{ N} \end{aligned}$$

Faktor reduksi geser: (SNI 2847:2013 Ps.(9.3.2.3))

$$\phi = 0,75$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 54378 = 40783 \text{ N}$$

Cek kebutuhan tul. geser: (SNI 2847:2013 Ps.(11.4.7.1))  
 $V_u' > \phi V_c \rightarrow 71068 \text{ N} > 40783 \text{ N} \rightarrow$  butuh tulangan geser

Kuat geser: (SNI 2847:2013 Ps.(11.1.1))

$$\begin{aligned}\phi (V_c + V_s) &\geq V_u' \\ 0,75 (54378 + V_s) &\geq 71068 \text{ N} \\ 4078 + 0,75 V_s &\geq 71068 \text{ N} \\ V_s &\geq 40379 \text{ N}\end{aligned}$$

Desain tul. geser: (SNI 2847:2013 Ps.(11.4.7.2))

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{A_v x f_y x d}{s} \\ \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_y x d} = \frac{40378,87}{420 x 292} = 0,33 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Digunakan sengkang 2 kaki:

$$A_v = 2 x A_s \text{ sengkang} = 2 x 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_v}{A_v/s} = \frac{157,08}{0,33} = 477,09 \text{ mm}$$

Cek jarak sengkang min.: (SNI 2847:2013 Ps.(11.4.5.1))

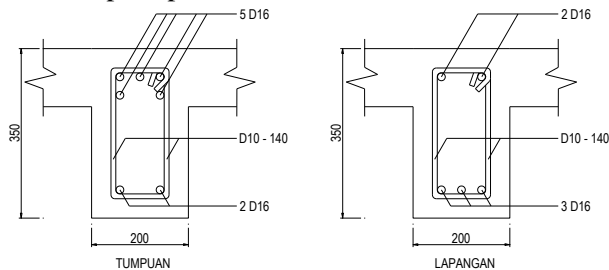
$$\begin{aligned}S &\leq \frac{d}{2} \\ S &\leq \frac{292}{2}\end{aligned}$$

$$477,09 \text{ mm} \leq 146 \text{ mm} \text{ (Not Okay)}$$

➔ Maka digunakan sengkang 2 kaki **D10 – 140**

### Sket penulangan balok anak:

Dari hasil perhitungan di atas, maka penulangan balok anak dapat digambarkan seperti pada Gambar 5.8.



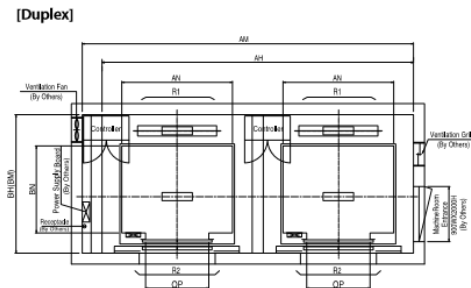
**Gambar 5. 8 Detail penulangan balok anak**

### 5.3.2. Balok Lift

Balok lift berfungsi memikul beban lift baik itu akibat bandul lift (R1) maupun ruang lift (R2). Balok lift terletak pada *core wall* dan memiliki 2 jenis. Yang pertama berfungsi sebagai pemikul bandul lift, yang kedua berfungsi memikul ruang lift. Pada perencanaan ini penampang lift seperti pada Gambar 5.9 dan spesifikasi lift yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### Spesifikasi Lift:

Tipe lift	:	Passenger (Duplex)
Merk	:	Sigma
Speed	:	1,5 – 1,75 m/s
Kapasitas	:	17 Person / 1150 Kg
Lebar pintu	(OP)	: 1000 mm
Car size	(AN)	: 1800 mm
	(BN)	: 1500 mm
Hoistway size	(AH)	: 4850 mm
	(BH)	: 2200 mm
Machine room size	(AM)	: 4850 mm
	(BM)	: 2200 mm
Reaction load	(R1)	: 9400 Kg → 94 kN
	(R2)	: 7750 Kg → 77,5 kN



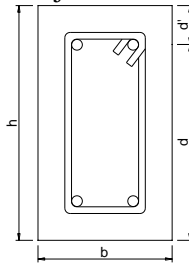
**Gambar 5. 9 Gambar penampang lift**

#### Data perencanaan:

Tipe balok	:	BL
Bentang balok	:	540 cm

Dimensi balok (b)	: 30 cm
(h)	: 40 cm
Ø tulangan (lentur)	: 19 mm $\rightarrow A_s = 283,53 \text{ mm}^2$
(geser)	: 10 mm $\rightarrow A_s = 78,54 \text{ mm}^2$
Mutu tul.(lentur) $f_y$	: 420 Mpa
(geser) $f_y$	: 420 Mpa
Selimut beton (s)	: 40 mm (SNI 2847:2013 Ps. (7.7.1))
Mutu beton ( $f'_c$ )	: 30 Mpa
$\beta_1$	: $0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7}$
	(SNI 2847:2013 Ps. 10.2.7.3)
	: $0,85 - 0,05 \frac{30 - 28}{7}$
	: 0,836

Tinggi efektif balok lift ditunjukan Gambar 5.10.



**Gambar 5. 10 Tebal manfaat balok lift**

$$\begin{aligned}
 d &= h \text{ balok} - s \text{ balok} - D \text{ geser} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\
 &= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 19/2 \text{ mm} \\
 &= 340,5 \text{ mm} \\
 d' &= s \text{ balok} - D \text{ geser} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 19/2 \text{ mm} \\
 &= 59,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### **Pembebanan balok:**

Sesuai dengan SNI 1727:2013 Ps. 4.6.3 dimana beban impak akibat mesin, maka beban harus dikalikan sebesar 20%. Dan menurut SNI 1727:2013 Tabel 4.1 beban merata untuk akses pemeliharaan sebesar  $1,92 \text{ kN/m}^2$ .

- Akibat reaksi mesin

$$R1 = 94 \text{ kN}$$

$$R2 = 77,5 \text{ kN}$$

Karena reaksi yang menentukan adalah  $R1$ , maka balok yang ditinjau adalah balok yang menerima reaksi  $R1$ .

$$P = (1 + 0,2) \times 94 = 112,8 \text{ kN}$$

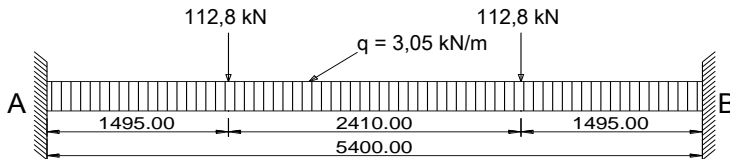
- Beban pelat lantai

$$q_{\text{pelat}} = 1,92 \times 0,1 \times 0,9 = 0,173 \text{ kN/m}$$

- Beban sendiri balok

$$q_{\text{balok}} = 24 \times 0,3 \times 0,4 = 2,88 \text{ kN/m}$$

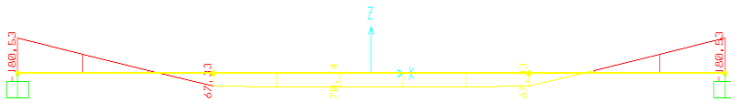
Sehingga pembebanan dapat dimodelkan pada Gambar 5.11.



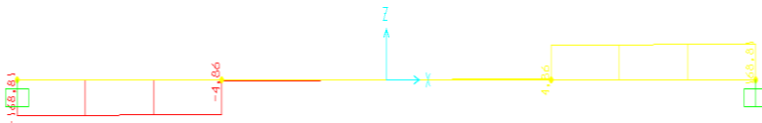
**Gambar 5. 11 Ilustrasi pembebanan pada balok lift**

#### Gaya dalam balok lift:

Dengan membuat permodelan dan pembebanan seperti pada Gambar 5.11 pada program bantu analisa struktur, maka didapat gaya dalam seperti pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13.



**Gambar 5. 12 Momen yang terjadi pada balok lift**



**Gambar 5. 13 Gaya geser yang terjadi pada balok lift**

Yang menentukan adalah gaya akibat kombinasi 1,4D:

$$M_{\text{tumpuan}} = 180,5261 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 70,1439 \text{ kNm}$$

$$V_u = 168,806 \text{ kN}$$

### Perhitungan tulangan:

#### • *Tumpuan*

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j_d)}$$

Pada balok, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,9d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 180,5261 \text{ kNm} \rightarrow 180526100 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{180526100}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 340)}$$

$$A_s \geq 1588,4 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c,b}} = \frac{1558,4 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 300} = 85,561 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{85,561}{0,836} = 102,38 \text{ mm}$$

$$0,375d = 0,375 \cdot 340,5 = 127,69 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375d \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$102,38 \text{ mm} < 127,69 \text{ mm} \text{ (*asumsi awal benar*)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{180526100}{0,9 \cdot 420 \left(340,5 - \frac{66,71}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 1604,1 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{1604,1353}{300 \cdot 340,5} = 0,0157$$

Cek syarat kebutuhan tul:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0,25 \sqrt{f'_{c}}}{f_y} \times b_w \times d & A_{s \min} &= \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \\ &= \frac{1,37}{420} \times 300 \times 340,5 & &= \frac{1,4}{420} \times 300 \times 340,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{333,03 \text{ mm}^2}{b \times d} = \frac{333,03}{300 \times 340,5} = 0,0032 \\
 \rho_{\min} &= \frac{340,5 \text{ mm}^2}{b \times d} = \frac{340,5}{300 \times 340,5} = 0,0033
 \end{aligned}$$

Yang menentukan adalah  $\rho_{\min} = 0,0033$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,022
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0033 < 0,0157 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $A_{s\text{perlu}} = 1604,1 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$N_{tul} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tul}}} = \frac{1604,1}{283,523} = 5,66 \approx 6 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013 Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 2 lapis, lapis pertama 4 buah dan lapis kedua 2 buah, maka:

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_w - 2s - N \cdot D - 2 \cdot D}{\frac{N-1}{4-1}} \geq 25 \text{ mm} \\
 S &= \frac{300 - 2 \cdot 40 - 4 \cdot 19 - 2 \cdot 10}{4-1} \geq 25 \text{ mm} \\
 S &= 41,33 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (Okay)}
 \end{aligned}$$

→ Maka dipakai tulangan **6 D19**

- **Lapangan**

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j \cdot d)}$$

Pada balok, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,9d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 70,1439 \text{ kNm} \rightarrow 70143900 \text{ Nmm}$$



$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{70143900}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 340,5)}$$

$$A_s \geq 605,53 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{605,3 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 300} = 33,245 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{33,245}{0,836} = 39,78 \text{ mm}$$

$$0,375d = 0,375 \cdot 340,5 = 127,69 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375d \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$39,78 \text{ mm} < 127,69 \text{ mm} \text{ (asumsi awal benar)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{70143900}{0,9 \cdot 420 \left(340,5 - \frac{33,245}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 572,95 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{572,95}{300 \cdot 340,5} = 0,0056$$

Cek syarat kebutuhan tul:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d$	$A_{s \min} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$
$= \frac{1,37}{420} \times 300 \times 340,5$	$= \frac{1,4}{420} \times 300 \times 340,5$
$= 333,03 \text{ mm}^2$	$= 340,5 \text{ mm}^2$
$\rho_{\min} = \frac{A_{s \min}}{b \times d}$	$\rho_{\min} = \frac{A_{s \min}}{b \times d}$
$= \frac{333,03}{300 \times 340,5}$	$= \frac{340,5}{300 \times 340,5}$
$= 0,0032$	$= 0,0033$

Yang menentukan adalah  $\rho_{\min} = 0,0033$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0,022$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0033 < 0,0056 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $A_{s\text{perlu}} = 572,95 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$N_{\text{tul}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tul}}} = \frac{572,95}{283,523} = 2,02 \approx 3 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013 Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 1 lapis sebanyak 3 buah, maka:

$$S = \frac{b_w - 2s - N.D - 2.D}{N-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{300 - 2.40 - 3.19 - 2.10}{3-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 71,55 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}$$

→ Maka didapat tulangan **3 D19**

#### • Tulangan geser

$$V_u = 168,81 \text{ kN}$$

$$V_u' = V_u' \text{ sejarak } d \text{ (340,5 mm)}$$

$$= 167,434 \text{ kN (Output program bantu)}$$

Kuat geser beton: (SNI 2847:2013 Ps.(11.2.1.1))

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 300 \times 340,5$$

$$= 95115 \text{ N}$$

Faktor reduksi geser: (SNI 2847:2013 Ps.(9.3.2.3))

$$\phi = 0,75$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 95115 = 71336 \text{ N}$$

Cek kebutuhan tul. geser: (SNI 2847-2013 Ps.(11.4.7.1))

$$V_u' > \phi V_c \rightarrow 167434 \text{ N} > 71336 \text{ N} \rightarrow \text{butuh tulangan geser}$$

Kuat geser: (SNI 2847:2013 Ps.(11.1.1))

$$\phi (V_c + V_s) \geq V_u'$$

$$0,75 (95115 + V_s) \geq 167434 \text{ N}$$

$$71336 + 0,75 V_s \geq 167434 \text{ N}$$

$$V_s \geq 128131 \text{ N}$$

Desain tul. geser: (SNI 2847:2013 Ps.(11.4.7.2))

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{128130,57}{420 \times 340,5} = 0,896 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan sengkang 2 kaki:

$$A_v = 2 \times A_s \text{ sengkang} = 2 \times 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_v}{A_v/s} = \frac{157,08}{0,896} = 175,32 \text{ mm}$$

Cek jarak sengkang min.: (SNI 2847:2013 Ps.(11.4.5.1))

$$S \leq \frac{d}{2}$$

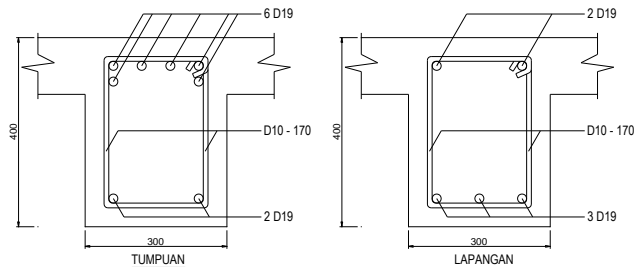
$$S \leq \frac{340,5}{2}$$

$$175,32 \text{ mm} \leq 170,25 \text{ mm} \text{ (Not Okay)}$$

→ Maka digunakan sengkang 2 kaki **D10 – 170**

#### **Sket penulangan balok lift:**

Dari hasil perhitungan diatas, maka penulangan balok lift dapat digambarkan seperti pada Gambar 5.14.



**Gambar 5. 14 Detail penulangan balok lift**

### **5.4. Perencanaan Tangga**

Struktur tangga dimodelkan terpisah dari permodelan struktur utama. Hal ini bertujuan untuk mempermudah melakukan analisa struktur dan gaya dalam. Struktur tangga dimodelkan dengan menggunakan perletakan sederhana sendi-rol. Dimana

balok tangga akan berperan sebagai perletakan sendi dan balok konsol berperan sebagai perletakan rol.

#### 5.4.1. Pelat Tangga dan Bordes

Berikut ini adalah data perencanaan pelat dan mutu material yang digunakan sebagai acuan untuk mendesain tangga:

##### Data perencanaan pelat tangga dan pelat bordes:

Tinggi antar lantai	: 3500 mm
Tinggi bordes	: 1750 mm
Tebal efektif pelat tangga	: 224,2 mm
Tebal pelat bordes	: 150 mm
Panjang tangga	: 2520 mm
Lebar tangga	: 1050 mm
Panjang bordes	: 1000 mm
Lebar bordes	: 2200 mm

##### Data material dan mutu:

Mutu beton	( $f'_c$ )	: 30 Mpa
	$\beta_1$	: $0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7}$
		(SNI 2847:2013 Ps.10.2.7.3)
		: $0,85 - 0,05 \frac{30 - 28}{7}$
		: 0,836
Selimut beton		: 20 mm
Ø tulangan	(utama)	: 13 mm $\rightarrow A_s = 132,732 \text{ mm}^2$
	(susut)	: 8 mm $\rightarrow A_s = 50,27 \text{ mm}^2$
Mutu tul.	(utama) $f_y$	: 420 Mpa
	(susut) $f_y$	: 240 Mpa

##### Pembebanan tangga:

• Pelat tangga					
Beban Mati:					
Berat sendiri	: 0,2242	x	24	=	6,345 kN/m <sup>2</sup>
Plester	:			=	0,239 kN/m <sup>2</sup>
Railing	:			=	0,192 kN/m <sup>2</sup>
				<hr/>	
				qD	= 6,776 kN/m <sup>2</sup>

Beban hidup:

Tangga apartemen ( $q_L$ ) = 4,79 kN/m<sup>2</sup> (SNI 1727:2013 Tb.4-1)

Beban ultimit:

$$\begin{aligned} q_{ul} &= 1,2D + 1,6L \\ &= (1,2 \times 6,776) + (1,6 \times 4,79) \\ &= 15,795 \text{ kN/m}^2 \times 1,05 \text{ m} = 16,585 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- Pelat bordes

Beban Mati:

Berat sendiri	:	0,15	x	24	=	3,6	kN/m <sup>2</sup>
Plester	:				=	0,239	kN/m <sup>2</sup>
Railing	:				=	0,192	kN/m <sup>2</sup>
					<b>qD</b>	<b>= 4,031</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

Beban hidup:

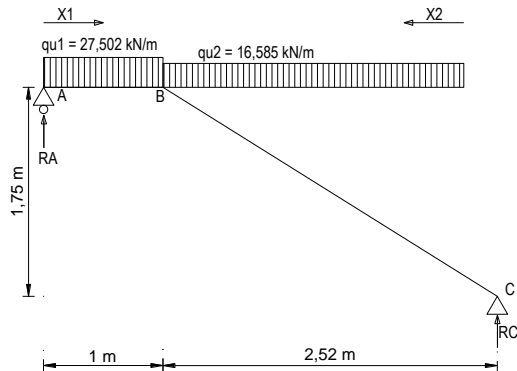
Tangga apartemen ( $q_L$ ) = 4,79 kN/m<sup>2</sup> (SNI 1727:2013 Tb.4-1)

Beban ultimit:

$$\begin{aligned} q_{ul} &= 1,2D + 1,6L \\ &= (1,2 \times 4,031) + (1,6 \times 4,79) \\ &= 12,501 \text{ kN/m}^2 \times 2,2 \text{ m} = 27,502 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

### **Analisa struktur dan gaya dalam:**

Dari perhitungan beban diatas didapat pemodelan struktur tangga seperti pada Gambar 5.15. Sehingga gaya dalam dapat dihitung seperti berikut ini:



**Gambar 5. 15 Pemodelan dan pembebanan struktur tangga**

- Reaksi perletakan struktur tangga

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_A &= 0 \\
 &= -(RC + 3,52) + [(qu2 \times 2,52) \times 2,26] + [(qu1 \times 1) \times 0,5] \\
 &= -(RC \times 3,52) + 94,45 + 13,75 \\
 RC &= \frac{108,205}{3,52} = 30,74 \text{ kN } (\uparrow) \\
 \Sigma MC &= 0 \\
 &= (RA + 3,52) + [(qu1 \times 1) \times 3,02] + [(qu2 \times 2,52) \times 1,26] \\
 &= (RA \times 3,52) + 83,057 + 52,66 \\
 RA &= \frac{135,717}{3,52} = 38,56 \text{ kN } (\uparrow)
 \end{aligned}$$

Cek:

$$\Sigma V = 0$$

$$38,56 - 27,50 - 41,79 + 30,74 = 0 \rightarrow \text{Okay}$$

- Perhitungan gaya lintang

Potongan X1:

$$\begin{aligned}
 D_{X1} &= R_A - (qu1 \times X1) \\
 &= 38,56 - (27,5 \times X1)
 \end{aligned}$$

$$X1 = 0 \text{ m} \rightarrow D_A = 38,56 \text{ kN}$$

$$X1 = 1 \text{ m} \rightarrow D_B = 11,05 \text{ kN}$$

Potongan X2:

$$\begin{aligned}
 D_{X2} &= R_C - (qu2 \times X2) \\
 &= 30,74 - (16,58 \times X2)
 \end{aligned}$$

$$X2 = 0 \text{ m} \rightarrow D_A = 30,74 \text{ kN}$$

$$X2 = 1 \text{ m} \rightarrow D_B = -11,05 \text{ kN}$$

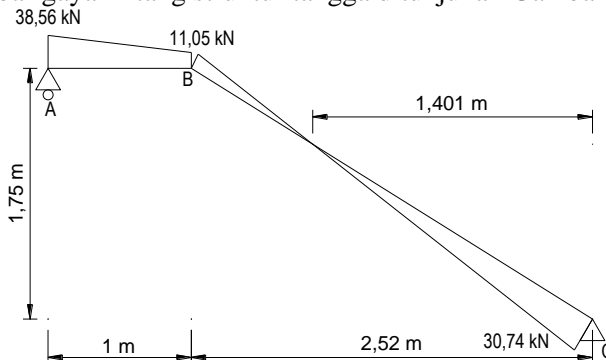
Pada  $D_{X2} = 0$  terjadi momen maksimal

$$D_{X2} = R_C + (qu2 \times X2)$$

$$0 = 38,56 - (27,5 \times X2)$$

$$X2 = \frac{38,56}{27,5} = 1,401 \text{ m}$$

Gambar gaya lintang struktur tangga ditunjukkan Gambar 5.16.



**Gambar 5. 16 Gaya lintang struktur tangga**

- Perhitungan momen

Potongan X1:

$$\begin{aligned} M_{X1} &= R_A \times X1 - (0,5 \times qu1 \times X1^2) \\ &= 38,56 \times X1 - (0,5 \times 27,5 \times X1^2) \end{aligned}$$

$$X1 = 0 \text{ m} \quad \rightarrow \quad M_A = 0 \text{ kNm}$$

$$X1 = 1 \text{ m} \quad \rightarrow \quad M_B = 24,8 \text{ kNm}$$

Potongan X2:

$$\begin{aligned} M_{X1} &= R_C \times X2 - (0,5 \times qu2 \times X2^2) \\ &= 30,74 \times X2 - (0,5 \times 16,58 \times X2^2) \end{aligned}$$

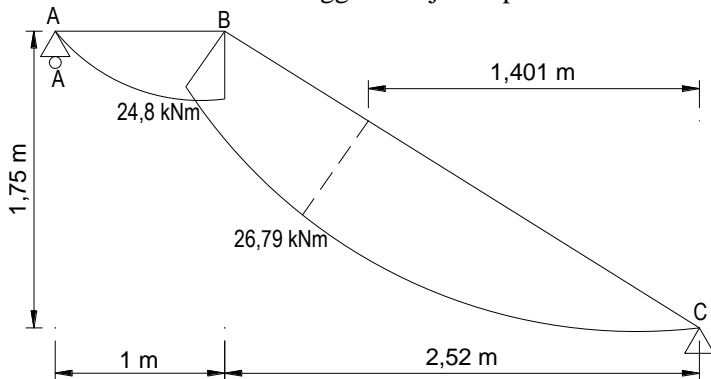
$$X2 = 0 \text{ m} \quad \rightarrow \quad M_A = 0 \text{ kNm}$$

$$X2 = 2,52 \text{ m} \quad \rightarrow \quad M_B = 24,8 \text{ kNm}$$

Momen max:

$$\begin{aligned} M_{\max} &= R_C \times X2 - (0,5 \times qu2 \times X2^2) \\ &= 30,74 \times 1,401 - (0,5 \times 16,58 \times 1,401^2) \\ &= 26,797 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gambar momen struktur tangga ditunjukkan pada Gambar 5.17.



**Gambar 5. 17 Gambar momen struktur tangga**

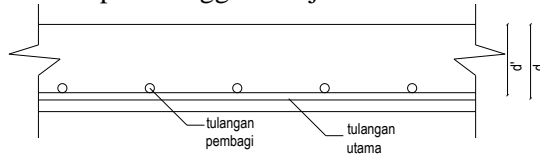
**Perhitungan tulangan pelat tangga dan bordes:**

- Tipe pelat

$$L_n = 2520 \text{ mm} \quad S_n = 1050 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{2520}{1050} = 2,4 > 2 \rightarrow \text{pelat satu arah}$$

- Tebal manfaat pelat tangga ditunjukkan Gambar 5.18



**Gambar 5. 18 Tebal manfaat pelat tangga**

Dari gambar 5.2 sehingga didapat nilai:

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - D/2 & d' &= h - \text{decking} - D - \emptyset/2 \\ &= 150 - 20 - 13/2 & &= 150 - 20 - 13 - 8/2 \\ &= 123,5 \text{ mm} & &= 113 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Perhitungan tulangan utama

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (jd)}$$

Pada pelat, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan  $0,95d$  (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 26,797 \text{ kNm} \rightarrow 26797280,54 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,95d)}$$

$$A_s \geq \frac{26797280,54}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,95 \cdot 123,5)}$$

$$A_s \geq 604,238 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{604,238 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 9,95 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{9,95}{0,836} = 11,91 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \cdot 123,5 = 46,31 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375dt \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$9,95 \text{ mm} < 46,31 \text{ mm (asumsi awal benar)}$$



Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{26797280,54}{0,9 \cdot 420 \left(123,5 - \frac{9,95}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 598,13 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{598,13}{1000 \cdot 123,5} = 0,00484$$

Cek syarat kebutuhan tulangan:

$$\rho_{\min} = 0,0018 \text{ (SNI 2847:2013 Ps.7.12.2.1)}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \text{ (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0,022$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0018 < 0,00484 < 0,022$$

Karena syarat memenuhi maka gunakan  $A_{s \text{ perlu}}$

Syarat jarak tulangan:

$$\text{(SNI 2847:2013 Ps.7.6.5)} \qquad \text{(SNI 2847:2013 Ps.13.3.2)}$$

$$S < 3 \cdot hf$$

$$S < 2 \cdot hf$$

$$S < 450 \text{ mm}$$

$$\text{Yang menentukan adalah } 2 \cdot hf = 2 \cdot 150 = 300 \text{ mm}$$

Menentukan jumlah tulangan terpasang:

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{598,13}{132,73} = 4,51 \approx 5 \text{ buah}$$

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{N-1} = \frac{1000}{5-1} = 250 \text{ mm} < 300 \text{ mm (Okay)}$$

Maka digunakan tulangan dengan jarak maksimum 200 mm.

$$N_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pasang}}}{S_{\text{pasang}}} = \frac{1000 + 200}{200} = 6 \text{ buah}$$

Cek:

$$A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ perlu}}$$

$$6 \cdot 132,732 \geq 598,13$$

$$796,394 \text{ mm}^2 > 598,13 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)}$$

→ Sehingga digunakan tulangan **D13 – 200**

Tulangan pembagi (susut dan suhu)

$$\rho = 0,0014 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.1)}$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,0014 \times 1000 \times 123,5 = 172,9 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak tulangan: (SNI 2847:2013 Ps.7.12.2.2)

$$S < 5 \cdot hf$$

$$S < 450 \text{ mm}$$

$$\text{Yang menentukan adalah } 5 \cdot hf = 5 \cdot 150 = 750 \text{ mm}$$

Menentukan jumlah tulangan terpasang:

$$N_{\text{tulangan}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} = \frac{172,9}{50,27} = 3,44 \approx 4 \text{ buah}$$

$$S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{N-1} = \frac{1000}{4-1} = 333 \text{ mm} < 750 \text{ mm (Okay)}$$

Maka digunakan tulangan dengan jarak 300 mm.

$$N_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{pasang}}}{S_{\text{pasang}}} = \frac{1000 + 300}{300} = 4,3 \approx 5 \text{ buah}$$

Cek:

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$$

$$5 \cdot 50,27 \geq 172,9$$

$$251,33 \text{ mm}^2 > 172,9 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)}$$

➔ Sehingga digunakan tulangan  $\emptyset 8 - 300$

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak  
Spasi tulangan terdekat ke muka tarik, S, tidak boleh melebihi yang ditentukan pada (SNI 2847:2013 Ps.10.6.4):

$$S = 380 \cdot \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \cdot C_c$$

tetapi tidak lebih besar dari

$$S = 300 \cdot \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

Dimana:

$$C_c = \text{Jarak terkecil permukaan tulangan ke muka tarik} \\ = 20 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{2}{3} \cdot f_y = \frac{2}{3} \cdot 420 = 280 \text{ Mpa}$$

Maka:

$$S = 380 \cdot \left( \frac{280}{280} \right) - 2,5 \cdot 20 = 330 \text{ mm} > 200 \text{ mm (Okay)}$$

dan tidak lebih dari

$$S = 30 \cdot \left(\frac{280}{280}\right) = 300 \text{ mm} > 200 \text{ mm (Okay)}$$

- Kontrol lendutan

Menurut tabel 9.5 (b) pada (SNI 2847:2013 Ps.9.5.3.1) lendutan seketika yang diizinkan pada pelat lantai adalah:

$$\delta_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{252}{360} = 0,70 \text{ cm}$$

$$Q_{ijin} = 1DL + 1LL = 12,14 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{30} = 25742,96 \text{ N/mm}^2$$

$$I_g = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 100 \cdot 15^3 = 28125 \text{ cm}^4$$

$$y_t = h/2 = 150/2 = 75 \text{ mm}$$

$$f_r = 0,62 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} = 0,62 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} = 3,4$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,4 \cdot 281250000}{75} = 12734549,46 \text{ Nmm}$$

$$M_a = 19584000 \text{ Nmm (combo 1D+1L)}$$

Karena  $M_a > M_{cr}$ , maka inersia yang digunakan adalah inersia penampang bersih ( $I_e$ ). Dengan mengasumsikan perletakan sederhana, dan  $I_e$  dihitung sesuai SNI 2847:2013 Ps. 9.5.2.3 maka lendutan seketika yang terjadi:

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \left(\frac{1}{3} \times b \times y_t^3\right) + (A_s \times y_t^3) \\ &= \left(\frac{1}{3} \times 100 \times 7,5^3\right) + (7,96 \times 7,5^3) \\ &= 14510,5 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr} \\ &= \left(\frac{12,73}{19,58}\right)^3 \times 28125 + \left[1 - \left(\frac{12,73}{19,58}\right)^3\right] \times 14510,5 \\ &= 3744,25 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\delta = \left(\frac{5}{384}\right) \cdot \left(\frac{Q \cdot L^4}{EI}\right) = \left(\frac{5}{384}\right) \cdot \left(\frac{12,14 \cdot 252^4}{25742,96 \cdot 3744,2}\right) = 0,66 \text{ cm}$$

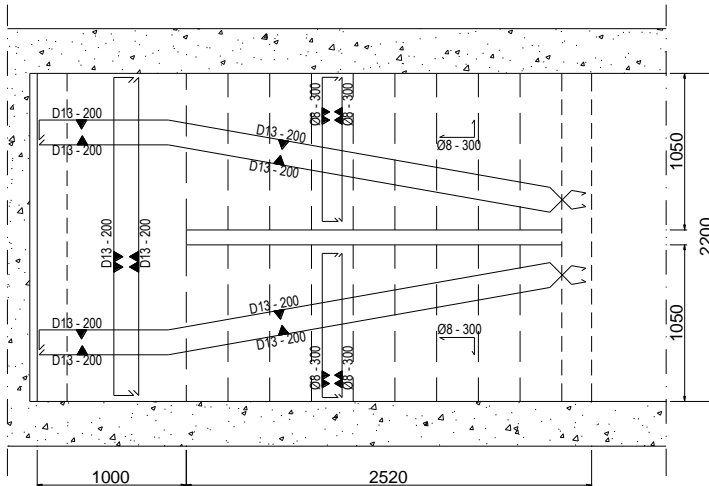
Cek:

$$\delta \leq \delta_{ijin}$$

$$0,66 \text{ cm} < 0,70 \text{ cm (Oke)}$$

**Sket penulangan pelat tangga dan bordes:**

Dari hasil perhitungan di atas maka sket penulangan pelat tangga dan bordes dapat dilihat pada Gambar 5.19.



**Gambar 5. 19 Sket penulangan pelat tangga dan bordes**

**5.4.2. Balok Tangga**

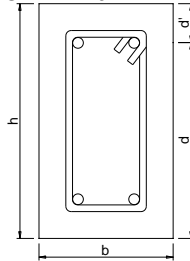
Balok tangga berperan sebagai perletakan (sendi) pada struktur tangga. Dengan data perencanaan sebagai berikut:

**Data perencanaan:**

Tipe balok	: BT
Bentang balok	: 220 cm
Dimensi balok (b)	: 20 cm
(h)	: 35 cm
Ø tulangan (lentur)	: 16 mm $\rightarrow A_s = 201,06 \text{ mm}^2$
(geser)	: 10 mm $\rightarrow A_s = 78,54 \text{ mm}^2$
Mutu tul.(lentur) $f_y$	: 420 Mpa
(geser) $f_y$	: 420 Mpa
Selimut beton (s)	: 40 mm (SNI 2847:2013 Ps. (7.7.1))
Mutu beton ( $f'_c$ )	: 30 Mpa

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &: 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} \\
 &\quad (\text{SNI 2847:2013 Ps.10.2.7.3}) \\
 &: 0,85 - 0,05 \frac{30 - 28}{7} \\
 &: 0,836
 \end{aligned}$$

Tinggi efektif balok tangga ditunjukkan Gambar 5.20.



**Gambar 5. 20 Tebal manfaat balok tangga**

Dari gambar 5.20 didapat nilai:

$$\begin{aligned}
 d &= h \text{ balok} - s \text{ balok} - D \text{ geser} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\
 &= 350 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 16/2 \text{ mm} \\
 &= 292 \text{ mm} \\
 d' &= s \text{ balok} - D \text{ geser} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 16/2 \text{ mm} \\
 &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### **Pembebanan balok tangga:**

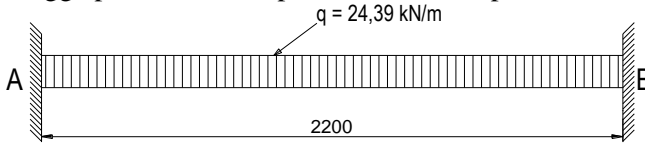
- Beban mati:
 

Beban tangga pada titik C	= 13,97 kN/m
Beban akibat pelat : $0,12 \times 0,86 \times 24$	= 2,48 kN/m
Berat sendiri balok : $0,2 \times 0,35 \times 24$	= 1,68 kN/m
- Beban hidup:
 

Beban hidup pelat : $1,92 \times 0,86$	= 1,65 kN/m
--	-------------
- Beban ultimit yang dipikul balok:
 

$q_{ul} = 1,2D + 1,6L$	
$= (1,2 \times 18,13) + (1,6 \times 1,65)$	
$= 24,39 \text{ kN/m}$	

Sehingga pembebanan dapat dimodelkan seperti Gambar 5.21.



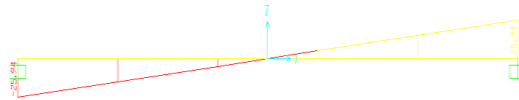
**Gambar 5. 21 Pemodelan beban pada balok tangga**

#### Analisa gaya dalam balok tangga:

Menggunakan program bantu analisa struktur, pemodelan pada Gambar 5.21 didapat *output* gaya dalam berupa momen dan gaya geser seperti yang ditunjukkan Gambar 5.22 dan Gambar 5.23.



**Gambar 5. 22 Momen balok tangga**



**Gambar 5. 23 Gaya geser balok tangga**

Besar gaya dalam akibat kombinasi 1,2D+1L:

$$M_u \text{ tumpuan} = 9,51 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ lapangan} = 4,18 \text{ kNm}$$

$$V_u = 25,94 \text{ kN}$$

#### Perhitungan tulangan balok tangga:

##### • *Tumpuan*

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j_d)}$$

Pada balok, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan  $0,9d$  (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 9.51 \text{ kNm} \rightarrow 9510000 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{9510000}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 292)}$$

$$A_s \geq 95,73 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{95,73 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 200} = 85,561 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,88}{0,836} = 9,43 \text{ mm}$$

$$0,375d = 0,375 \cdot 292 = 109,5 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375d \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$9,43 \text{ mm} < 109,5 \text{ mm} \text{ (asumsi awal benar)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{9510000}{0,9 \cdot 420 \left(292 - \frac{7,88}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 87,34 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{87,34}{200 \cdot 292} = 0,0015$$

Cek syarat kebutuhan tul:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d$	$A_{s \min} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$
$= \frac{1,37}{420} \times 200 \times 292$	$= \frac{1,4}{420} \times 200 \times 292$
$= 190,39 \text{ mm}^2$	$= 194,67 \text{ mm}^2$
$\rho_{\min} = \frac{A_{s \min}}{b \times d}$	$\rho_{\min} = \frac{A_{s \min}}{b \times d}$
$= \frac{190,39}{200 \times 292}$	$= \frac{194,67}{200 \times 292}$
$= 0,0032$	$= 0,0033$

Yang menentukan adalah  $\rho_{\min} = 0,0033$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \end{aligned}$$

$$= 0,022$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0033 > 0,0015 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $A_{s\text{perlu}} = 194,67 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$N_{\text{tul}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tul}}} = \frac{194,67}{201,06} = 0,97 \approx 2 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang sebanyak 2 buah, maka:

$$S = \frac{b_w - 2s - N \cdot D - 2 \cdot D}{N - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{200 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 16 - 2 \cdot 10}{2 - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 68 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}$$

➔ Maka dipakai tulangan **2 D16**

- **Lapangan**

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j_d)}$$

Pada balok, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,9d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 4,18 \text{ kNm} \rightarrow 4180000 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{4180000}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 292)}$$

$$A_s \geq 41,08 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{42,08 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 200} = 3,47 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3,46}{0,836} = 4,15 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \cdot 292 = 109,5 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375dt \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$4,15 \text{ mm} < 109,5 \text{ mm (asumsi awal benar)}$$



Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{4180000}{0,9 \cdot 420 \left(292 - \frac{3,46}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 38,09 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{38,09}{200 \cdot 292} = 0,00065$$

Cek syarat kebutuhan tul:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} x b_w x d & A_{s \min} &= \frac{1,4}{f_y} x b_w x d \\ &= \frac{1,37}{420} x 200 x 292 & &= \frac{1,4}{420} x 200 x 292 \\ &= 190,39 \text{ mm}^2 & &= 194,67 \text{ mm}^2 \\ \rho_{\min} &= \frac{A_{s \min}}{b x d} & \rho_{\min} &= \frac{A_{s \min}}{b x d} \\ &= \frac{190,39}{200 x 292} & &= \frac{194,67}{200 x 292} \\ &= 0,0032 & &= 0,0033 \end{aligned}$$

Yang menentukan adalah  $\rho_{\min} = 0,0033$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 x \rho_b \\ &= 0,75 x \frac{0,85 x \beta_1 x f'_c}{f_y} x \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 x \frac{0,85 x 0,836 x 30}{420} x \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,022 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0033 > 0,00065 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $A_{s \text{ perlu}} = 194,67 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$N_{\text{tul}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tul}}} = \frac{194,67}{201,06} = 0,97 \approx 2 \text{ buah}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang sebanyak 2 buah, maka:

$$S = \frac{b_w - 2s - N.D - 2.D}{N - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{200 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 16 - 2 \cdot 10}{2 - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 68 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}$$

→ Maka dipakai tulangan **2 D16**

• **Tulangan geser**

$$V_u = 25,94 \text{ kN}$$

$$V_u' = V_u' \text{ sejarak } d (292 \text{ mm})$$

$$= 19,05 \text{ kN (Output program bantu)}$$

Kuat geser beton: (SNI 2847:2013 Ps.(11.2.1.1))

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 200 \times 292 \\ &= 54377,9 \text{ N} \end{aligned}$$

Faktor reduksi geser: (SNI 2847:2013 Ps.(9.3.2.3))

$$\phi = 0,75$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 54377,9 = 40783,4 \text{ N}$$

Cek kebutuhan tul. geser: (SNI 2847:2013 Ps.(11.4.7.1))

$$V_u' > \phi V_c \rightarrow \text{butuh tulangan geser}$$

$$19050 \text{ N} < 40783,4 \text{ N} \rightarrow \text{tidak butuh tulangan geser}$$

Karena tidak perlu tulangan geser, maka dipasang tulangan geser minimum.

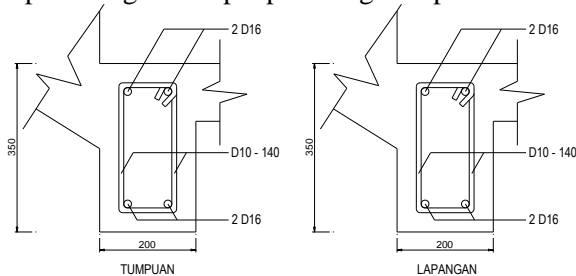
Syarat sengkang min.: (SNI 2847:2013 Ps.(11.4.5.1))

$$S \leq \frac{d}{2} \rightarrow \frac{292}{2} = 146 \approx 140 \text{ mm}$$

→ Maka dipakai sengkang 2 kaki **D10 – 140**

**Sket penulangan balok tangga:**

Dari hasil perhitungan didapat penulangan seperti Gambar 5.24.



**Gambar 5. 24 Sket penulangan balok tangga**

### 5.4.3. Balok Konsol

Balok konsol berperan sebagai perletakan (rol) bordes pada struktur tangga. Diman pelat bordes menumpu pada *pad* yang langsung dipikul oleh balok konsol.

#### Data perencanaan balok konsol:

Tipe balok	: BK
Bentang balok	: 220 cm
Dimensi balok (bw)	: 100 cm (asumsi per 100 cm)
(h)	: 35 cm
Ø tulangan (lentur)	: 16 mm $\rightarrow A_s = 201,06 \text{ mm}^2$
Mutu tul.(lentur) $f_y$	: 420 Mpa
Selimit beton (s)	: 40 mm (SNI 2847:2013 Ps. (7.7.1))
Mutu beton ( $f'_c$ )	: 50 Mpa
$\beta_1$	: $0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7}$ (SNI 2847:2013 Ps.10.2.7.3)
	: $0,85 - 0,05 \frac{50 - 28}{7}$
	: 0,693
Tinggi efektif (d)	: $h - s - D \text{ geser} - \frac{1}{2} D \text{ lentur}$
	: $350 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - 16/2 \text{ mm}$
	: 286 mm

#### Analisa pembebanan dan gaya dalam:

- Diasumsikan perletakan sejauh ( $A_v$ ) dari permukaan tumpu:  
 $A_v = 150 \text{ mm}$
- Reaksi perletakan ( $V_u$ ) diambil dari reaksi tangga pada titik A:  
 $V_u = 30,74 \text{ kN} \rightarrow 30739,99 \text{ N}$
- Ketentuan yang digunakan sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 11.8. Untuk dapat menggunakan ketentuan tersebut, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi harus sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 11.8.1 sebagai berikut:

$$\frac{A_v}{d} < 1 \rightarrow \frac{150}{286} < 1 \rightarrow 0,53 < 1 \text{ (Okay)}$$

$$N_{uc} < V_u \rightarrow (0,2 \times 30739,99) < 30739,99$$

$$\rightarrow 6148 \text{ N} < 30739,99 \text{ N (Okay)}$$

- Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.8.3.1, syarat kuat geser  $V_n$  untuk beton normal adalah:

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{30739,99}{0,75} = 40986,65 \text{ N}$$

### **Menentukan luas tulangan geser friksi:**

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar daripada:

- $0,2f'_c \times bw \times d = 10 \times 1000 \times 286 = 2860000 \text{ N}$
- $(3,3 + 0,08f'_c) \times bw \times d$   
 $= [3,3 + (0,08 \times 50)] \times 1000 \times 286$   
 $= 2087800 \text{ N}$

$$A_{vt} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} = \frac{40986,65}{420 \times 1,4} = 69,71 \text{ mm}^2$$

### **Luas tulangan lentur:**

$$\begin{aligned} M_u &= \{(V_u \times A_v) + [N_{uc} \times (h - d)]\} \\ &= \{(30739,99 \times 150) + [6148 \times (350 - 286)]\} \\ &= 5004469,83 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 50} = 9,88$$

$$\phi = 0,9$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{5004469,83}{0,9 \times 1000 \times 286^2} = 0,068$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{9,88} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,88 \times 0,068}{420}} \right) \\ &= 0,00016 \end{aligned}$$

Cek syarat kebutuhan tul:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} & \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,77}{420} & &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,00421 & &= 0,0033 \end{aligned}$$

Yang menentukan adalah 0,00421 maka:

$$A_f = \rho \times b \times d = 0,00421 \times 1000 \times 286 = 1203,77 \text{ mm}^2$$

Tulangan pokok:

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{6148}{0,75 \times 420} = 19,52 \text{ mm}^2$$

**Pemilihan tulangan utama yang digunakan:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.8.3.5:

$$A_{sc} = A_f + A_n = 1203,77 + 19,52 = 1223,28 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} = \frac{2 \times A_{vt}}{3} + A_n = \frac{2 \times 69,71}{3} + 19,52 = 65,99 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} \text{ perlu} = 1223,28 \text{ mm}^2 \text{ (menentukan)}$$

$$N \text{ tul.} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tul.}}} = \frac{1223,28}{201,06} = 6,08 \approx 7 \text{ buah}$$

$$S \text{ tul.} = \frac{1000}{N-1} = \frac{1000}{7-1} = 166,67 \approx 160 \text{ mm}$$

Cek:

$$A_{sc} \text{ pakai} > A_{sc} \text{ perlu}$$

$$7 \times 201,06 > 1223,28$$

$$1407,43 \text{ mm}^2 > 1223,28 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)}$$

Maka:

➔ Dipakai tulangan **D16 – 160**

**Perhitungan tulangan sengkang tertutup:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.8.4 luas sengkang tertutup harus disediakan sebesar:

$$\begin{aligned} A_h &= 0,5 \times (A_s - A_n) \\ &= 0,5 \times (1223,28 - 19,52) \\ &= 601,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$N \text{ tul.} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tul.}}} = \frac{601,88}{201,06} = 2,99 \approx 3 \text{ buah}$$

Daerah 2/3d:

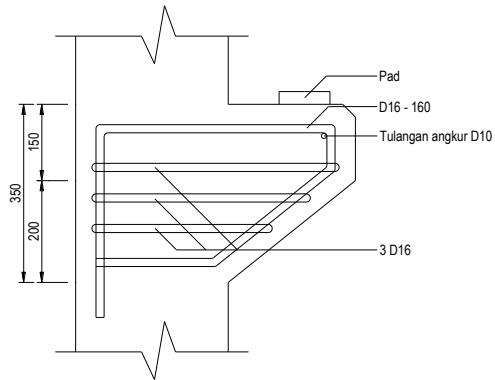
$$\frac{2}{3} \times d = \frac{2}{3} \times 286 = 190,67 \text{ mm}$$

S sengkang:

$$\frac{190,67}{3} = 63,56 \approx 60 \text{ mm}$$

**Sket penulangan balok konsol:**

Dari hasil perhitungan maka didapat sket penulangan balok konsol seperti pada Gambar 5.25.



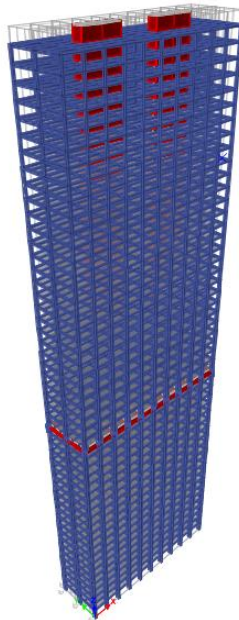
**Gambar 5. 25 Sket hasil perhitungan tulangan balok konsol**

## **BAB VI**

### **PEMBEBANAN DAN ANALISA STRUKTUR**

#### **6.1. Pemodelan Struktur**

Pemodelan adalah tahap awal dari perencanaan untuk mendapatkan gaya dalam elemen struktur yang digunakan untuk mendesain kebutuhan tulangan dan penampang elemen struktur yang ditinjau. Untuk memodelkan bangunan digunakan program bantu analisa struktur (ETABS). Setelah dimodelkan, pemodelan dibebani sesuai dengan perencanaan. Kemudian dilakukan analisa struktur sebagai kontrol sesuai dengan yang tercantum pada SNI 1726:2012. Untuk pemodelan bangunan pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 6.1.



**Gambar 6. 1 Pemodelan desain modifikasi struktur  
Gunawangsa Tidar**

## 6.2. Pembebanan

Setelah membuat pemodelan seperti pada Gambar 6.1, tahap selanjutnya adalah melakukan analisa pembebanan yang akan di-*input* ke dalam pemodelan yang sudah dibuat. Beban – beban yang akan di-*input* meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Berikut ini adalah analisa pembebanan sesuai dengan SNI 1726:2012, SNI 1727:2013, dan ASCE 7-10.

### 6.2.1. Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri bangunan (*self weight*) dan beban mati tambahan (*superimposed dead load*). Untuk berat sendiri bangunan akan dihitung secara otomatis oleh program bantu analisa struktur. Sementara untuk beban mati tambahan adalah beban yang arus di-input secara manual pada pemodelan, baik itu pada pelat lantai maupun pada balok. Untuk beban mati tambahan bisa dilihat pada Tabel 6.1 dan 6.2.

**Tabel 6. 1 Beban mati tambahan Lt. 1-50**

Nama Beban	b (m)	h (m)	l (m)	Bj	Jumlah (N)	Total (Kg)
Plaster	1	1	1	19,52	788,4	15395,88
Ceramic	1	1	1	112,29	788,4	88526,28
Mec. Duct	1	1	1	24,41	788,4	19244,84
Sus. Gypsum	1	1	1	48,82	788,4	38489,69
Dinding 1	1	3,5	5,4	234,34	66	292310,73
Dinding 2	1	3,5	7,8	234,34	22	140742,20

**Tabel 6. 2 Beban mati tambahan Lt. 51**

Nama Beban	b (m)	h (m)	l (m)	Bj	Jumlah (N)	Total (Kg)
Asphalt	2,5	1	5,4	146,46	4	7908,84
Mec. Duct	2,5	1	5,4	24,41	4	7318,14
Sus. Gypsum	2,5	1	5,4	48,82	4	2636,28



### 6.2.2. Beban Hidup

Sesuai dengan SNI 1727:2013 Tabel 4-1 untuk hunian apartemen beban hidup merata bisa diambil  $1,92 \text{ kN/m}^2$  ( $195,78 \text{ Kg/m}^2$ ), dan beban hidup atap sebesar  $0,96 \text{ kN/m}^2$  ( $97,89 \text{ Kg/m}^2$ ). Beban hidup boleh direduksi sebesar 0,5 sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 4.2.2. Sehingga rincian beban hidup lantai pada bangunan dapat dilihat pada Tabel 6.3.

**Tabel 6. 3 Beban hidup yang bekerja**

Lantai	b (m)	h (m)	Void (m <sup>2</sup> )	Bj	Jml. (N)	Total (Kg)	LL.0,5 (Kg)
R. Mesin	2,5	10,8	0	97,89	2	5286,06	2643,03
Atap	15,6	54	54	97,89	1	77176,48	38588,24
Lantai	15,6	54	54	195,78	48	7408941,70	3704470,85

### 6.2.3. Beban Angin

Untuk beban angin dapat diambil dari BMKG untuk wilayah Kota Surabaya. Dimana didapat kecepatan angin untuk wilayah Kota Surabaya rata – rata 6,4 Knot, dengan kecepatan maksimum 20,3 Knot. Diambil yang menentukan 20,3 Knot = 23,3608 Mph  $\approx$  25 Mph. Sehingga data angin yang digunakan untuk di-*input* ke pemodelan adalah 25 Mph.

### 6.2.4. Beban Gempa

Pembebanan gempa direncanakan menggunakan gempa dinamik. Dimana untuk tahap perencanaan secara manual sesuai dengan yang tercantum pada sub-bab 2.3.1. Namun pada bab ini akan dijelaskan merencanakan beban gempa menggunakan Puskim. Kelebihan perencanaan menggunakan Puskim adalah lebih mudah dan lebih akurat, karena tidak perlu melihat peta gempa dan melakukan interpolasi tabel. Berikut adalah tahap – tahap perencanaan:

- Menentukan kelas situs tanah

Pada Apartemen Gunawangsa Tidar (Tower C) ini, terdapat 7 titik *Bore Log*. Dimana data *Bore Log* adalah salah satu acuan untuk mengetahui kelas situs tanah. Dengan

menggunakan persamaan 2-2 dan melihat Tabel 6.4 maka nilai  $\bar{N}$  dapat diketahui.

**Tabel 6. 4 Data  $N_{SPT}$  BH-1**

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	di	Ni	$\frac{di}{Ni}$
0		-	-	-
1	Lempung coklat keabu-abuan	2	3	0,67
2				
3		2	4	0,5
4	Pasir halus abu-abu gelap	2	2	1
5				
6		2	2	1
7	Pasir halus kelanauan abu-abu gelap	2	5	0,4
8				
9		2	6	0,33
10	Lempung kelanauan abu-abu kecokelatan	2	6	0,33
11				
12		2	9	0,22
13	Lempung abu-abu	2	11	0,18
14				
15		2	13	0,15
16				
17	Lempung kelanauan dan kulit kerang abu-abu	2	15	0,13
18				
19		2	16	0,12
20				
21	Pasir kelanauan dan kulit kerang abu-abu	2	17	0,12
22				
23		2	9	0,22
24				
25	Lempung kelanauan abu-abu	2	10	0,20
26				
27	Lempung dan mengandung sedikit pasir abu-abu	2	14	0,14
28				
29	Pasir kelanauan dan kulit kerang abu-abu kecokelatan	2	20	0,10
30				

**Tabel 6. 4 Data  $N_{SPT}$  BH-1 (Lanjutan)**

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	di	Ni	$\frac{di}{Ni}$
31	Pasir kelanauan abu-abu	2	32	0,06
32				
33				
34		2	14	0,14
35	Lempung kelanauan abu-abu kecokelatan	2	17	0,12
36				
37				
38		2	21	0,09
39	Lanau coklat kekuningan	2	27	0,07
40				
41				
42		2	21	0,09
43	Lempung kelanauan coklat keabu-abuan	2	22	0,09
44				
45				
46		2	16	0,13
47	Lempung kelanauan abu-abu gelap	2	17	0,12
48				
49				
50		2	20	0,1
Total:		50	361	5,52

$$\bar{N} = \frac{\sum_{j=1}^n di}{\sum_{j=1}^n \frac{di}{Ni}} = \frac{50}{5,52} = 9,06 < 15 \text{ maka termasuk tanah lunak (SE)}$$

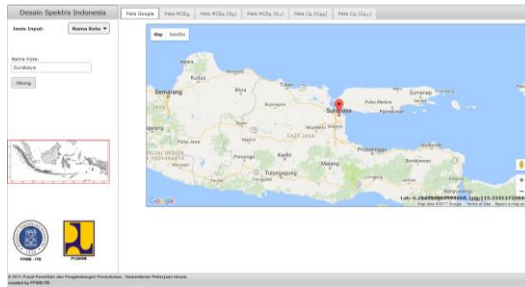
Dengan cara yang sama, kelas situs tanah dari seluruh titik *Bore Log* lainnya dapat dilihat pada Tabel 6.5 .

**Tabel 6. 5 Rekapitulasi nilai  $\bar{N}$  tiap titik**

Titik	di	Ni	$\Sigma di/Ni$	$\bar{N}$	Kelas Situs
BH-1	50	361	5,52	9,06	SE
BH-2	50	380	7,17	6,98	SE
BH-3	40	317	7,73	5,18	SE
BH-4	50	525	6,34	7,88	SE
BH-5	40	312	7,16	5,59	SE
BH-6	40	298	8,51	4,70	SE
BH-7	40	276	7,62	5,25	SE

- Masuk ke website [puskim.pu.go.id](http://puskim.pu.go.id)

Setelah didapat kelas situs tanah, tahap selanjutnya adalah masuk ke website puskim. Kemudian akan muncul tampilan seperti pada Gambar 6.2, pilih kota surabaya dan masukan kelas situs tanah lunak (SE).



**Gambar 6. 2 Tampilan WEB Puskim**

- Output parameter gempa dari puskim

Setelah didapat nilai – nilai parameter gempa seperti pada Tabel 6.6, maka nilai – nilai tersebut dapat di-*input* ke program bantu analisa struktur sebagai beban gempa.

**Tabel 6. 6 Ouput nilai - nilai parameter gempa**

Variabel	Nilai
$S_s$ (g)	0,663
$S_1$ (g)	0,247
$F_A$	1,374
$F_V$	3,012
$S_{MS}$ (g)	0,911
$S_{M1}$ (g)	0,744
$S_{DS}$ (g)	0,607
$S_{D1}$ (g)	0,496
$T_a$	2,383
$T_0$	0,163
$T_s$	0,817

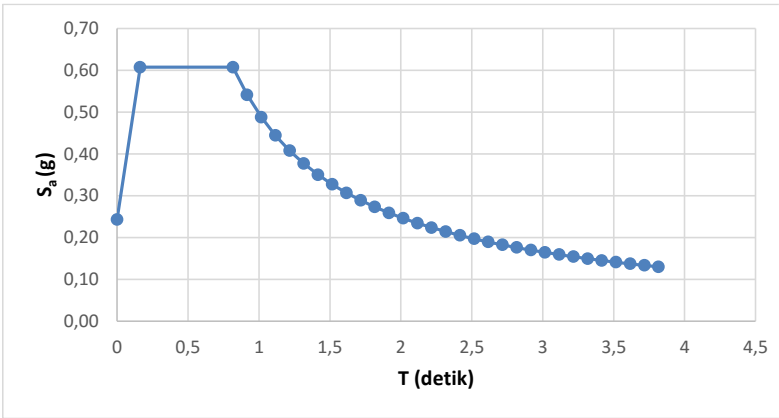
- Kurva respon desain

Sehingga didapat kurva respon desain seperti pada Gambar 6.3 dari nilai yang tercantum pada Tabel 6.7.

Tabel 6. 7 Spektrum respons percepatan desain

T (detik)	T (detik)	S <sub>a</sub> (g)
0	0	0,24
T <sub>0</sub>	0,163	0,61
T <sub>s</sub>	0,817	0,61
T <sub>s</sub> + 0,1	0,917	0,54
T <sub>s</sub> + 0,2	1,017	0,49
T <sub>s</sub> + 0,3	1,117	0,44
T <sub>s</sub> + 0,4	1,217	0,41
T <sub>s</sub> + 0,5	1,317	0,38
T <sub>s</sub> + 0,6	1,417	0,35
T <sub>s</sub> + 0,7	1,517	0,33
T <sub>s</sub> + 0,8	1,617	0,31
T <sub>s</sub> + 0,9	1,717	0,29
T <sub>s</sub> + 1,0	1,817	0,27
T <sub>s</sub> + 1,1	1,917	0,26
T <sub>s</sub> + 1,2	2,017	0,25
T <sub>s</sub> + 1,3	2,117	0,23
T <sub>s</sub> + 1,4	2,217	0,22

T (detik)	T (detik)	S <sub>a</sub> (g)
T <sub>s</sub> + 1,5	2,317	0,21
T <sub>s</sub> + 1,6	2,417	0,21
T <sub>s</sub> + 1,7	2,517	0,20
T <sub>s</sub> + 1,8	2,617	0,19
T <sub>s</sub> + 1,9	2,717	0,18
T <sub>s</sub> + 2,0	2,817	0,18
T <sub>s</sub> + 2,1	2,917	0,17
T <sub>s</sub> + 2,2	3,017	0,16
T <sub>s</sub> + 2,3	3,117	0,16
T <sub>s</sub> + 2,4	3,217	0,15
T <sub>s</sub> + 2,5	3,317	0,15
T <sub>s</sub> + 2,6	3,417	0,15
T <sub>s</sub> + 2,7	3,517	0,14
T <sub>s</sub> + 2,8	3,617	0,14
T <sub>s</sub> + 2,9	3,717	0,13
T <sub>s</sub> + 3,0	3,817	0,13



Gambar 6. 3 Kurva respons spektrum desain

### 6.3. Analisa Struktur

Hasil analisa struktur perlu dikontrol sesuai syarat pada SNI 1726:2012. Hal tersebut dilakukan untuk meninjau kelayakan struktur dalam memikul beban yang bekerja. Berikut ini adalah kontrol – kontrol yang dilakukan terhadap hasil analisa struktur:

- Berat sendiri bangunan
- Jumlah respon ragam
- Perioda struktur dan skala gaya gempa
- Simpangan bangunan (*Drift*)
- Distribusi vertikal dan horisontal gaya gempa
- Pengaruh P-Delta
- Kontrol torsi bawaan dan torsi tak terduga

#### 6.3.1. Berat Sendiri Bangunan

Tujuan menghitung berat sendiri bangunan secara manual adalah untuk dibandingkan dengan berat sendiri output ETABS. Untuk memastikan beban yang *di-input* ke ETABS sudah benar, toleransi selisih antara perhitungan manual dan *output* harus  $\leq 10\%$ . Berikut ini adalah perhitungan berat sendiri bangunan:

Luas bangunan :  $15,6 \text{ m} \times 54 \text{ m} = 842,4 \text{ m}^2$

Void :  $2,5 \text{ m} \times 5,4 \text{ m} \times 4 = 54 \text{ m}^2$

Bj beton :  $2400 \text{ Kg/m}^3$

- *Self Weight*

Balok BA :  $0,2 \text{ m} \times 0,35 \text{ m}$

BI<sub>1</sub> :  $0,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$

BI<sub>2</sub> :  $0,3 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$

Pelat Atap :  $t = 0,12 \text{ m}$

Lantai :  $t = 0,12 \text{ m}$

*Corewall* :  $t = 0,3 \text{ m}$

*Outrigger* :  $t = 0,3 \text{ m}$

*Belt-truss* :  $t = 0,3 \text{ m}$

Kolom Lt.1 :  $0,7 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}; 0,8 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$

Lt.2-8 :  $0,7 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}; 0,7 \text{ m} \times 1,15 \text{ m}$

Lt.9-15 :  $0,7 \text{ m} \times 1,1 \text{ m}; 0,6 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$

Lt.16-22	: 0,7 m x 1,0 m; 0,5 m x 0,9 m
Lt.23-29	: 0,65 m x 0,9 m; 0,5 m x 0,8 m
Lt.30-36	: 0,6 m x 0,8 m; 0,5 m x 0,7 m
Lt.37-43	: 0,55 m x 0,7 m; 0,5 m x 0,6 m
Lt.44-50	: 0,5 m x 0,6 m; 0,5 m x 0,5 m

- *Superimposed Dead Load*

Plaster	: 19,53 Kg/m <sup>2</sup>
Mechanical Ducting	: 24,41 Kg/m <sup>2</sup>
Suspended & Gypsum	: 48,82 Kg/m <sup>2</sup>
Asphalt	: 146,46 Kg/m <sup>2</sup>
Ceramic	: 112,29 Kg/m <sup>2</sup>
Brick	: 234,34 Kg/m <sup>2</sup>

- *Live Load*

Lantai	: 195,78 Kg/m <sup>2</sup>	Atap	: 97,89 Kg/m <sup>2</sup>
--------	----------------------------	------	---------------------------

Sehingga didapat berat dan massa tiap lantai seperti yang disajikan pada Tabel 6.8. Untuk kemudian dibandingkan dengan hasil *output* ETABS yang disajikan pada Tabel 6.9.

**Tabel 6. 8 Berat tiap lantai perhitungan manual**

Lantai	Beban Mati (Kg)	Beban Hidup (Kg)	Beban Mati + Hidup (Kg)	Beban Mati + Hidup (kN)
Lantai 51	153127,26	2643,03	155770,29	1527,585
Lantai 50	1210777,62	38588,24	1249365,86	12252,094
Lantai 49	1210777,62	77176,476	1287954,09	12630,515
Lantai 48	1210777,62	77176,476	1287954,09	12630,515
Lantai 47	1210777,62	77176,476	1287954,09	12630,515
Lantai 46	1210777,62	77176,476	1287954,09	12630,515
Lantai 45	1210777,62	77176,476	1287954,09	12630,515
Lantai 44	1210777,62	77176,476	1287954,09	12630,515
Lantai 43	1229173,62	77176,476	1306350,09	12810,918
Lantai 42	1229173,62	77176,476	1306350,09	12810,918
Lantai 41	1229173,62	77176,476	1306350,09	12810,918
Lantai 40	1229173,62	77176,476	1306350,09	12810,918
Lantai 39	1229173,62	77176,476	1306350,09	12810,918
Lantai 38	1229173,62	77176,476	1306350,09	12810,918
Lantai 37	1229173,62	77176,476	1306350,09	12810,918

**Tabel 6. 8 Berat tiap lantai perhitungan manual (Lanjutan)**

<b>Lantai</b>	<b>Beban Mati (Kg)</b>	<b>Beban Hidup (Kg)</b>	<b>Beban Mati + Hidup (Kg)</b>	<b>Beban Mati + Hidup (kN)</b>
Lantai 36	1249585,62	77176,476	1326762,09	13011,092
Lantai 35	1249585,62	77176,476	1326762,09	13011,092
Lantai 34	1249585,62	77176,476	1326762,09	13011,092
Lantai 33	1249585,62	77176,476	1326762,09	13011,092
Lantai 32	1249585,62	77176,476	1326762,09	13011,092
Lantai 31	1249585,62	77176,476	1326762,09	13011,092
Lantai 30	1249585,62	77176,476	1326762,09	13011,092
Lantai 29	1272013,62	77176,476	1349190,09	13231,035
Lantai 28	1272013,62	77176,476	1349190,09	13231,035
Lantai 27	1272013,62	77176,476	1349190,09	13231,035
Lantai 26	1272013,62	77176,476	1349190,09	13231,035
Lantai 25	1272013,62	77176,476	1349190,09	13231,035
Lantai 24	1272013,62	77176,476	1349190,09	13231,035
Lantai 23	1272013,62	77176,476	1349190,09	13231,035
Lantai 22	1498460,82	77176,476	1575637,29	15451,724
Lantai 21	1296457,62	77176,476	1373634,09	13470,749
Lantai 20	1296457,62	77176,476	1373634,09	13470,749
Lantai 19	1296457,62	77176,476	1373634,09	13470,749
Lantai 18	1296457,62	77176,476	1373634,09	13470,749
Lantai 17	1296457,62	77176,476	1373634,09	13470,749
Lantai 16	1296457,62	77176,476	1373634,09	13470,749
Lantai 15	1314349,62	77176,476	1391526,09	13646,209
Lantai 14	1314349,62	77176,476	1391526,09	13646,209
Lantai 13	1314349,62	77176,476	1391526,09	13646,209
Lantai 12	1314349,62	77176,476	1391526,09	13646,209
Lantai 11	1314349,62	77176,476	1391526,09	13646,209
Lantai 10	1314349,62	77176,476	1391526,09	13646,209
Lantai 9	1314349,62	77176,476	1391526,09	13646,209
Lantai 8	133627,62	77176,476	1410804,09	13835,262
Lantai 7	133627,62	77176,476	1410804,09	13835,262
Lantai 6	133627,62	77176,476	1410804,09	13835,262
Lantai 5	133627,62	77176,476	1410804,09	13835,262
Lantai 4	133627,62	77176,476	1410804,09	13835,262
Lantai 3	133627,62	77176,476	1410804,09	13835,262
Lantai 2	133627,62	77176,476	1410804,09	13835,262
Lantai 1	1367485,62	77176,476	1444662,09	13835,262
<b>Total</b>	<b>64064513,34</b>	<b>3822878,592</b>	<b>67887391,93</b>	<b>665747,892</b>



**Tabel 6. 9 Berat sendiri total (Output ETABS)**

Group	Self Mass (Kg)	Mass X (Kg)	Mass Y (Kg)	Mass Z (Kg)
All	33339008,27	65718472,15	65718472,15	0

Dari Tabel 6.8 dan Tabel 6.9, didapat:

$$W_{\text{manual}} = 64064513,34 \text{ Kg}$$

$$W_{\text{ETABS}} = 65718472,12 \text{ Kg}$$

Sehingga didapat selisih antara  $W_{\text{manual}}$  dan  $W_{\text{ETABS}}$  sebesar 2,52%

### 6.3.2. Jumlah Respon Ragam

Sesuai dengan yang tercantum pada SNI 1726:2012 Ps. 7.9.1 dimana respon ragam harus memenuhi minimal 90% dari massa aktual dalam masing – masing arah. Sedangkan jumlah respon ragam berdasar *output* ETABS dapat dilihat pada Tabel 6.10.

**Tabel 6. 10 Jumlah respon ragam dan partisipasi massa**

Mode	Sum UX	Sum UY
1	0	0,7064
2	0	0,7064
3	0,6441	0,7064
4	0,6441	0,8413
5	0,6441	0,8413
6	0,8246	0,8413
7	0,8246	0,8852
8	0,8246	0,8852
9	0,8246	0,8852
10	0,8246	0,9207
11	0,8904	0,9207
12	0,8904	0,9207
13	0,8904	0,9364
14	0,8904	0,9364
15	0,8904	0,9516
16	0,8904	0,9516
17	0,9272	0,9516

Berdasarkan Tabel 6.10 diatas menunjukkan bahwa pada mode ke-17 syarat partisipasi sebesar minimal 90% telah terpenuhi.

### 6.3.3. Periode Struktur dan Skala Gaya Gempa

Pada tahap perhitungan periode struktur dan skala gaya gempa digunakan faktor reduksi gempa ( $R$ ) sebesar 5, dan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) = 1. Penentuan periode struktur akan berpengaruh pada skala gaya gempa, yang mana akan digunakan 2 tahap. Tahap pertama skala gaya gempa untuk desain dan yang kedua untuk kontrol simpangan antar lantai.

- Desain

1. Untuk menentukan periode fundamental struktur, harus sesuai dengan yang tercantum pada SNI 1726:2012 Ps. 7.8.2 yaitu disebutkan bila:

$T_c > C_u \times T_a$ , maka digunakan  $T = C_u \times T_a$

$T_a < T_c < C_u \times T_a$ , maka digunakan  $T = T_c$

$T_c < T_a$ , maka digunakan  $T = T_a$

Dimana nilai  $T_a$  dihitung menggunakan persamaan 2-9 dan 2-10, sehingga nilai  $T_a$  didapat:

$$T_{ax} = \frac{0,0062}{\sqrt{0,1116}} \times 178,5 = 3,31 \text{ detik}$$

$$T_{ay} = \frac{0,0062}{\sqrt{0,009}} \times 178,5 = 11,66 \text{ detik}$$

Karena nilai  $S_{D1} = 0,496$  dengan melihat Tabel 14 pada SNI 1726:2012 didapat nilai  $C_u = 1,4$ . Sehingga dapat dihitung nilai:

$$C_u \times T_{ax} = 1,4 \times 3,31 = 4,637 \text{ detik}$$

$$C_u \times T_{ay} = 1,4 \times 11,66 = 16,321 \text{ detik}$$

Nilai  $T_c$  didapat dari *output* ETABS seperti yang ditampilkan pada Tabel 6.11.

**Tabel 6. 11 Arah dan besaran periode struktur**

Mode	Period (detik)	UX	UY	UZ	RZ
1	11,905	0	1	0	0
2	8,548	0	0	0	1
3	8,128	1	0	0	0

Dari Tabel 6.12 sehingga didapat nilai:

$$T_{cx} = 8,128 \rightarrow 8,128 > 4,637 \rightarrow T = 4,637 \text{ detik}$$

$$T_{cy} = 11,905 \rightarrow 11,66 < 11,905 < 16,321 \rightarrow T = 11,905 \text{ detik}$$

2. Menghitung geser dasar seismik menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 7.8.1 dimana  $V = C_s \times W$ . Sedangkan mencari koefisien respon seismik ( $C_s$ ) sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 7.8.1.1 yaitu:

$$C_{sx} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,607}{\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,121$$

$$C_{sy} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,607}{\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,121$$

Tidak perlu melebihi:

$$C_{sx} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,496}{4,637\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,02139$$

$$C_{sy} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,496}{11,905\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,00833$$

Cek:

$$C_{sx} = 0,121 > 0,02139 \rightarrow \text{maka pakai } 0,02139$$

$$C_{sy} = 0,121 > 0,00833 \rightarrow \text{maka pakai } 0,00833$$

Tidak kurang dari:

$$C_{sx} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \rightarrow 0,02672 > 0,01$$

$$C_{sy} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \rightarrow 0,02672 > 0,01$$

Cek:

$$C_{sx} = 0,02139 < 0,02672 \rightarrow \text{maka pakai } 0,02672$$

$$C_{sy} = 0,00833 < 0,02672 \rightarrow \text{maka pakai } 0,02672$$

Maka didapat nilai  $V$ :

$$V = C_{sx} \times W_T = 0,02672 \times 665747,892 = 17790,559 \text{ kN}$$

$$V = C_{sy} \times W_T = 0,02672 \times 665747,892 = 17790,559 \text{ kN}$$

3. Skala nilai desain sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 7.9.4.1 dimana  $V_{Dinamik} \geq 0,85 \cdot V_{Statik}$ . Bila lebih kecil maka harus dikalikan dengan  $0,85 \frac{V_{Dinamik}}{V_{Statik}}$ . Dimana  $V_{Dinamik}$  didapat dari *output* ETABS yang disajikan dalam Tabel 6.12.

**Tabel 6. 12  $V_{Dinamik}$  *output* ETABS**

Load Case	FX (kN)	FY (kN)	MX (kN.m)	MY (kN.m)
Quake X	9813,303	1649,5966	652549,7	88558,9
Quake Y	2940,9899	5504,2663	195565,4	150375,2

Dari Tabel 6.12 didapat:

$$V_{dx} = 9813,303 \text{ kN} \quad V_{dy} = 5504,266 \text{ kN}$$

Hitung nilai  $0,85 \cdot V_{\text{Statik}}$ :

$$\begin{aligned} V_{sx} &= 0,85 \times 17790,559 & V_{sy} &= 0,85 \times 17790,559 \\ &= 15121,975 \text{ kN} & &= 15121,975 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek:

$$V_{dx} \geq 0,85 \cdot V_{sx} \rightarrow 9813,303 \text{ kN} < 15121,975 \text{ kN} \text{ (Not Okay)}$$

$$V_{dy} \geq 0,85 \cdot V_{sy} \rightarrow 5504,266 \text{ kN} < 15121,975 \text{ kN} \text{ (Not Okay)}$$

Karena syarat tidak terpenuhi maka harus dikalikan dengan skala gaya gempa sebesar:

$$V_{dx} = \frac{15121,975}{9813,303} = 1,54 \quad V_{dy} = \frac{15121,975}{5504,266} = 2,75$$

Setelah didapat skala gaya gempa, nilai tersebut di-dinput ke ETABS untuk kemudian dianalisa ulang. Sehingga didapat nilai  $V_{\text{Dinamik}}$  seperti pada Tabel 6.13.

**Tabel 6. 13  $V_{\text{Dinamik}}$  output ETABS setelah dikali skala**

Load Case	FX (kN)	FY (kN)	MX (kN.m)	MY (kN.m)
Quake X	15200,34	2556,048	201988,93	1008650
Quake Y	8082,256	15131,84	1195777	536314,74

Cek nilai  $V_{\text{Dinamik}}$  pada Tabel 6.13:

$$V_{dx} \geq 0,85 \cdot V_{sx} \rightarrow 15200,34 \text{ kN} > 15121,975 \text{ kN} \text{ (Okay)}$$

$$V_{dy} \geq 0,85 \cdot V_{sy} \rightarrow 15131,84 \text{ kN} > 15121,975 \text{ kN} \text{ (Okay)}$$

- Kontrol simpangan antar lantai

1. Sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 7.8.6.2 untuk menentukan kesesuaian dengan batasan simpangan antar lantai, diijinkan menggunakan gaya desain seismik berdasar periode fundamental struktur yang dihitung tanpa batas atas ( $C_u \cdot T_a$ ). Sehingga nilai periode dari Tabel 6.11 dapat langsung digunakan, dimana:

$$T_{cx} = 8,128 \text{ detik}$$

$$T_{cy} = 11,905 \text{ detik}$$

2. Menurut SNI 1726:2012 Ps. 7.8.6.1 untuk meninjau simpangan antar lantai, nilai koefisien respon seismik ( $C_s$ ) tidak perlu menggunakan batas bawah. Sehingga didapat gaya geser dasar:

$$C_{sx} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,607}{\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,121$$

$$C_{sy} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,607}{\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,121$$

Tidak perlu melebihi:

$$C_{sx} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,496}{8,128\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,0122$$

$$C_{sy} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,496}{11,905\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,00833$$

Cek:

$$C_{sx} = 0,121 > 0,02139 \rightarrow \text{maka pakai } 0,0122$$

$$C_{sy} = 0,121 > 0,00833 \rightarrow \text{maka pakai } 0,00833$$

Maka didapat nilai V:

$$V = C_{sx} \times W_T = 0,0122 \times 665747,892 = 8125,269 \text{ kN}$$

$$V = C_{sy} \times W_T = 0,00833 \times 665747,892 = 5547,433 \text{ kN}$$

3. Skala nilai desain sesuai dengan SNI 1726:2012 Ps. 7.9.4.1 dimana  $V_{\text{Dinamik}} \geq 0,85 \cdot V_{\text{Statik}}$ . Bila lebih kecil maka harus dikalikan dengan  $0,85 \frac{V_{\text{Dinamik}}}{V_{\text{Statik}}}$ . Dimana  $V_{\text{Dinamik}}$  didapat dari

output ETABS yang disajikan dalam Tabel 6.12 yaitu:

$$V_{dx} = 9813,303 \text{ kN} \quad V_{dy} = 5504,266 \text{ kN}$$

Hitung nilai  $0,85 \cdot V_{\text{Statik}}$ :

$$\begin{aligned} V_{sx} &= 0,85 \times 8125,27 & V_{sy} &= 0,85 \times 5547,43 \\ &= 6906,479 \text{ kN} & &= 4715,318 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek:

$$V_{dx} \geq 0,85 \cdot V_{sx} \rightarrow 9813,303 \text{ kN} > 6906,479 \text{ kN} \text{ (Okay)}$$

$$V_{dy} \geq 0,85 \cdot V_{sy} \rightarrow 5504,266 \text{ kN} > 4715,318 \text{ kN} \text{ (Okay)}$$

Karena syarat sudah terpenuhi maka tidak perlu dikalikan dengan skala gaya gempa.

#### 6.3.4. Simpangan Bangunan (*Drift*)

Menurut SNI 1726:2012 Ps. 7.12.1 simpangan antar lantai harus memenuhi  $\Delta < \Delta_a$ . Secara umum untuk menghitung simpangan sesuai SNI 1726:2012 Ps. 7.8.6 digunakan persamaan:

$$\Delta = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e}$$

Sedangkan untuk menghitung simpangan antar lantai, dapat digunakan pendekatan seperti yang dijelaskan pada SNI 1726:2012 Gbr. 5 Ps. 7.9.3 yaitu:

Perpindahan  $\Delta_i$  tingkat 1:

$$\Delta_1 = \frac{C_d \cdot \delta_{e1}}{I_e}$$

Perpindahan  $\Delta_i$  tingkat 2:

$$\Delta_2 = \delta_{e2} - \delta_{e1} \times \frac{C_d}{I_e}$$

Dimana:

$\delta_{e1}$  = Simpangan akibat beban gempa di tingkat lantai ke-1

$\delta_{e2}$  = Simpangan akibat beban gempa di tingkat lantai ke-2

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi = 4,5 (R = 5)

$I_e$  = Faktor keutamaan gedung = 1

Simpangan yang terjadi harus lebih kecil dari simpangan ijin yang ditentukan pada SNI 1726:2012 Ps. 7.12.1 tabel 16 mengasumsikan bangunan termasuk “semua struktur lainnya” dengan nilai  $\Delta_a = 0,02 \times h_{sx}$

Dari *output* ETABS dan perhitungan menggunakan rumus di atas maka dapat dilakukan analisa kontrol simpangan antar lantai akibat gempa dinamik arah X dan arah Y. Hasil analisa disajikan dalam Tabel 6.14 dan Tabel 6.15.

**Tabel 6. 14 Simpangan antar lantai arah X**

Lantai	$h_{sx}$ (m)	Elevasi (m)	$\Delta_{tot}$ (mm)	$\delta_{xi}$ (mm)	$\Delta$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	Cek $\Delta < \Delta_a$
51	3	178,5	313,9	6,60	29,70	60	Okay
50	3,5	175,5	307,3	7,60	34,20	70	Okay
49	3,5	172	299,7	7,70	34,65	70	Okay
48	3,5	168,5	292,0	7,70	34,65	70	Okay
47	3,5	165	284,3	7,70	34,65	70	Okay
46	3,5	161,5	276,6	7,60	34,20	70	Okay
45	3,5	158	269,0	7,70	34,65	70	Okay
44	3,5	154,5	261,3	7,70	34,65	70	Okay
43	3,5	151	253,6	7,70	34,65	70	Okay
42	3,5	147,5	245,9	7,60	34,20	70	Okay
41	3,5	144	238,3	7,70	34,65	70	Okay
40	3,5	140,5	230,6	7,60	34,20	70	Okay

**Tabel 6. 14 Simpangan antar lantai arah X (Lanjutan)**

<b>Lantai</b>	<b>h<sub>sx</sub> (m)</b>	<b>Elevasi (m)</b>	<b>Δ<sub>tot</sub> (mm)</b>	<b>δ<sub>xi</sub> (mm)</b>	<b>Δ (mm)</b>	<b>Δ<sub>a</sub> (mm)</b>	<b>Cek Δ &lt; Δ<sub>a</sub></b>
39	3,5	137	223,0	7,60	34,20	70	Okay
38	3,5	133,5	215,4	7,60	34,20	70	Okay
37	3,5	130	207,8	7,60	34,20	70	Okay
36	3,5	126,5	200,2	7,50	33,75	70	Okay
35	3,5	123	192,7	7,40	33,75	70	Okay
34	3,5	119,5	185,2	7,40	33,30	70	Okay
33	3,5	116	177,8	7,40	33,30	70	Okay
32	3,5	112,5	170,4	7,30	32,85	70	Okay
31	3,5	109	163,1	7,30	32,85	70	Okay
30	3,5	105,5	155,8	7,10	31,95	70	Okay
29	3,5	102	148,7	7,10	31,95	70	Okay
28	3,5	98,5	141,6	7,10	31,95	70	Okay
27	3,5	95	134,5	6,90	31,05	70	Okay
26	3,5	91,5	127,6	6,80	30,60	70	Okay
25	3,5	88	120,8	6,70	30,15	70	Okay
24	3,5	84,5	114,1	6,60	29,70	70	Okay
23	3,5	81	107,5	6,20	27,90	70	Okay
22	3,5	77,5	101,3	5,90	26,55	70	Okay
21	3,5	74	95,4	6,50	29,25	70	Okay
20	3,5	70,5	88,9	6,20	27,90	70	Okay
19	3,5	67	82,7	6,20	27,90	70	Okay
18	3,5	63,5	76,5	6,10	27,45	70	Okay
17	3,5	60	70,4	6,00	27,00	70	Okay
16	3,5	56,5	64,4	5,90	26,55	70	Okay
15	3,5	53	58,5	5,80	26,10	70	Okay
14	3,5	49,5	52,7	5,60	25,20	70	Okay
13	3,5	46	47,1	5,50	24,75	70	Okay
12	3,5	42,5	41,6	5,30	23,85	70	Okay
11	3,5	39	36,3	5,00	22,50	70	Okay
10	3,5	35,5	31,3	4,80	21,60	70	Okay
9	3,5	32	26,5	4,60	20,70	70	Okay
8	3,5	28,5	21,9	4,20	18,90	70	Okay
7	3,5	25	17,7	3,90	17,55	70	Okay
6	3,5	21,5	13,8	3,50	15,75	70	Okay
5	3,5	18	10,3	3,00	13,50	70	Okay
4	3,5	14,5	7,3	2,70	12,15	70	Okay

**Tabel 6. 14 Simpangan antar lantai arah X (Lanjutan)**

Lantai	$h_{sx}$ (m)	Elevasi (m)	$\Delta_{tot}$ (mm)	$\delta_{xi}$ (mm)	$\Delta$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	Cek $\Delta < \Delta_a$
3	3,5	11	4,6	2,10	9,45	70	Okay
2	3,5	7,5	2,5	1,50	6,75	70	Okay
1	4	4	1,0	1,00	4,50	80	Okay
Dasar	0	0	0	0	0	0	Okay

**Tabel 6. 15 Simpangan antar lantai arah Y**

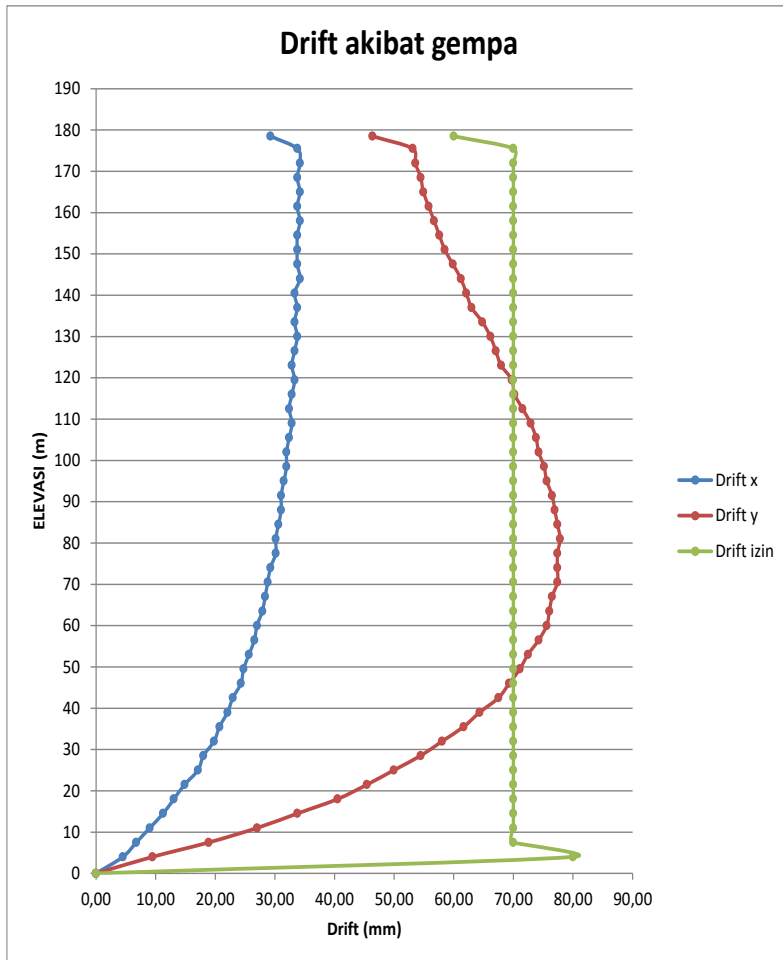
Lantai	$h_{sy}$ (m)	Elevasi (m)	$\Delta_{tot}$ (mm)	$\Delta_{yi}$ (mm)	$\Delta$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	Cek $\Delta < \Delta_a$
51	3	178,5	423,4	6,70	30,15	60	Okay
50	3,5	175,5	416,7	7,50	33,75	70	Okay
49	3,5	172	409,2	7,70	34,65	70	Okay
48	3,5	168,5	401,5	7,70	34,65	70	Okay
47	3,5	165	393,8	7,90	35,55	70	Okay
46	3,5	161,5	385,9	7,90	35,55	70	Okay
45	3,5	158	378,0	8,10	36,45	70	Okay
44	3,5	154,5	369,9	8,20	36,90	70	Okay
43	3,5	151	361,7	8,30	37,35	70	Okay
42	3,5	147,5	353,4	8,50	38,25	70	Okay
41	3,5	144	344,9	8,60	38,70	70	Okay
40	3,5	140,5	336,3	8,70	39,15	70	Okay
39	3,5	137	327,6	8,90	40,05	70	Okay
38	3,5	133,5	318,7	9,00	40,50	70	Okay
37	3,5	130	309,7	9,00	40,50	70	Okay
36	3,5	126,5	300,7	9,20	41,40	70	Okay
35	3,5	123	291,5	9,20	41,40	70	Okay
34	3,5	119,5	282,3	9,20	41,40	70	Okay
33	3,5	116	273,1	9,30	41,85	70	Okay
32	3,5	112,5	263,8	9,30	41,85	70	Okay
31	3,5	109	254,5	9,30	41,85	70	Okay
30	3,5	105,5	245,2	9,20	41,40	70	Okay
29	3,5	102	236,0	9,10	40,95	70	Okay
28	3,5	98,5	226,9	9,10	40,95	70	Okay
27	3,5	95	217,8	8,90	40,05	70	Okay
26	3,5	91,5	208,9	8,70	39,15	70	Okay
25	3,5	88	200,2	8,60	38,70	70	Okay
24	3,5	84,5	191,6	8,20	36,90	70	Okay



**Tabel 6. 15 Simpangan antar lantai arah Y (Lanjutan)**

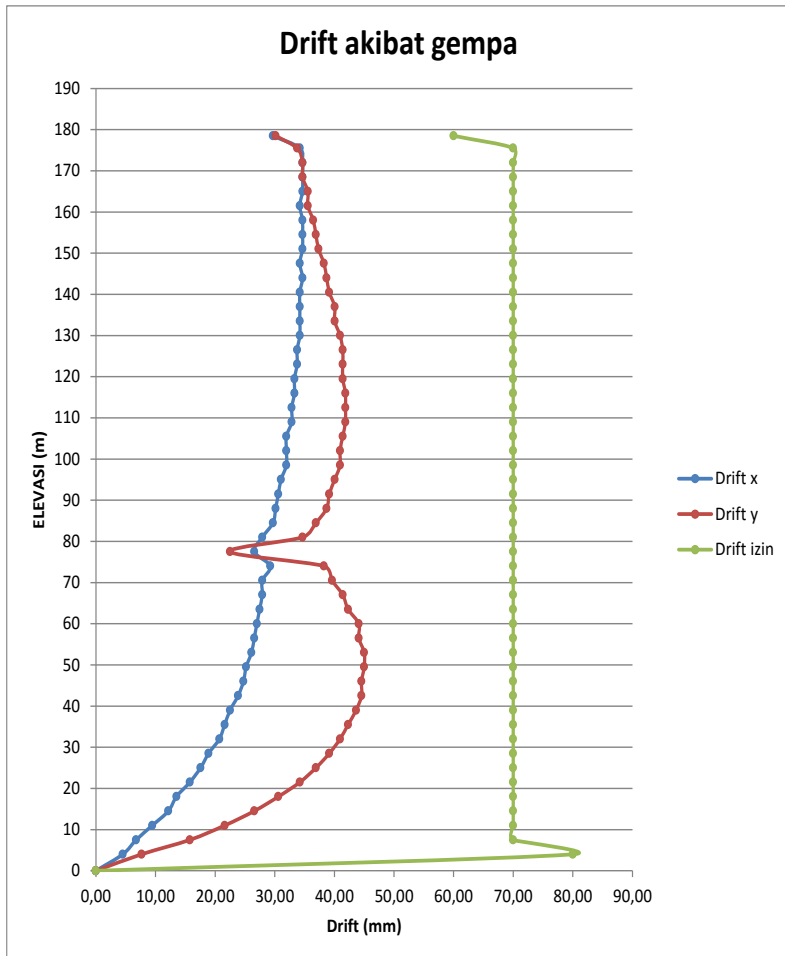
Lantai	$h_{sy}$ (m)	Elevasi (m)	$\Delta_{tot}$ (mm)	$\Delta_{yi}$ (mm)	$\Delta$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	Cek $\Delta < \Delta_a$
23	3,5	81	183,4	7,70	34,65	70	Okay
22	3,5	77,5	175,7	5,00	22,50	70	Okay
21	3,5	74	170,7	8,50	38,25	70	Okay
20	3,5	70,5	162,2	8,80	39,60	70	Okay
19	3,5	67	153,4	9,20	41,40	70	Okay
18	3,5	63,5	144,2	9,40	42,30	70	Okay
17	3,5	60	134,8	9,80	44,10	70	Okay
16	3,5	56,5	125,0	9,80	44,10	70	Okay
15	3,5	53	115,2	10,00	45,00	70	Okay
14	3,5	49,5	105,2	10,00	45,00	70	Okay
13	3,5	46	95,2	9,90	44,55	70	Okay
12	3,5	42,5	85,3	9,90	44,55	70	Okay
11	3,5	39	75,4	9,70	43,65	70	Okay
10	3,5	35,5	65,7	9,40	42,30	70	Okay
9	3,5	32	56,3	9,10	40,95	70	Okay
8	3,5	28,5	47,2	8,70	39,15	70	Okay
7	3,5	25	38,5	8,20	36,90	70	Okay
6	3,5	21,5	30,3	7,60	34,20	70	Okay
5	3,5	18	22,7	6,80	30,60	70	Okay
4	3,5	14,5	15,9	5,90	26,55	70	Okay
3	3,5	11	10,0	4,80	21,60	70	Okay
2	3,5	7,5	5,2	3,50	15,75	70	Okay
1	4	4	1,7	1,70	7,65	80	Okay
Dasar	0	0	0	0	0	0	Okay

Dari Tabel 6.14 dan Tabel 6.15 hubungan antara simpangan arah X, simpangan arah Y, dan simpangan ijin dapat dibuat grafik simpangan bangunan akibat gempa. Grafik tersebut disajikan dalam Gambar 6.4 dan Gambar 6.5.



**Gambar 6. 4 Grafik simpangan tanpa sistem *outrigger***

Dari Gambar 6.4 diketahui simpangan arah Y melebihi simpangan ijin. Sehingga perlu dipasang balok *outrigger* pada simpangan arah Y terbesar. Balok *outrigger* dan *belt-truss* dipasang pada tingkat lantai 22 maka didapat simpangan seperti pada Gambar 6.5.



**Gambar 6. 5 Grafik simpangan dengan sistem outrigger**

Dari Gambar 6.5 dapat dilihat bahwa simpangan bangunan arah Y yang tadinya melebihi ijin, setelah dipasang balok outrigger dan belt-truss simpangan menjadi lebih kecil dan memenuhi ijin. Sehingga desain bangunan sudah memenuhi kriteria yang ditentukan oleh SNI.

### 6.3.5. Distribusi Vertikal dan Horizontal Gaya Gempa

Menurut SNI 1726:2012 Ps. 7.8.3 gaya gempa lateral ( $F_x$ ) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan menggunakan persamaan:

$$F_{vx} = C_{vx} \cdot V$$

Dan,

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Dimana:

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertikal

$V$  = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur

$w_i$  &  $w_x$  = Berat seismik efektif total ( $W$ ) pada tingkat  $i$  atau  $x$

$h_i$  &  $h_x$  = Tinggi dari dasar struktur sampai tingkat  $i$  atau  $x$

$k$  = Eksponen terkait perioda struktur

Untuk gaya gempa arah X dengan perioda 8,128 detik nilai  $k = 2$  dan arah Y dengan perioda 11,905 detik nilai  $k = 2$ . Sedangkan menurut SNI 1726:2012 Ps. 7.8.4 geser tingkat desain di semua tingkat ( $V_x$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i$$

Maka dari persamaan – persamaan di atas maka nilai  $F_x$  dan  $V_x$  dapat dihitung. Hasil perhitungan tersebut disajikan dalam bentuk Tabel 6.16 dan Tabel 6.17.

**Tabel 6. 16 Nilai F dan V arah X**

Lantai	$h_i$	$h_i^k$	$w_i$	$w_i \cdot h_i^k$	$C_{vx}$	$F_x$	$V_x$
	(m)	(m)	(kN)	(kN.m)		(kN)	(kN)
51	178,5	357	1527,58	545347,74	0,0046	70,531	70,531
50	175,5	351	12252,09	4300484,8	0,0366	556,193	626,725
49	172,0	344	12630,52	4344897,1	0,0370	561,937	1188,66
48	168,5	337	12630,52	4256483,5	0,0362	550,502	1739,16
47	165,0	330	12630,52	4168069,9	0,0355	539,068	2278,23
46	161,5	323	12630,52	4079656,3	0,0347	527,633	2805,86
45	158,0	316	12630,52	3991242,7	0,0340	516,198	3322,06
44	154,5	309	12630,52	3902829,1	0,0332	504,763	3826,83
43	151,0	302	12810,92	3868897,2	0,0329	500,375	4327,20
42	147,5	295	12810,92	3779220,8	0,0322	488,777	4815,98
41	144,0	288	12810,92	3689544,4	0,0314	477,179	5293,16

**Tabel 6. 16 Nilai F dan V arah X (Lanjutan)**

Lantai	$h_i$	$h_i^k$	$w_i$	$w_i \cdot h^k$	$C_{vx}$	$F_x$	$V_x$
	(m)	(m)	(kN)	(kN.m)		(kN)	(kN)
40	140,5	281	12810,92	3599868,0	0,0306	465,581	5758,74
39	137,0	274	12810,92	3510191,5	0,0299	453,983	6212,72
38	133,5	267	12810,92	3420515,1	0,0291	442,384	6655,11
37	130,0	260	12810,92	3330838,7	0,0283	430,786	7085,89
36	126,5	253	13011,09	3291806,1	0,0280	425,738	7511,63
35	123,0	246	13011,09	3200728,5	0,0272	413,959	7925,59
34	119,5	239	13011,09	3109650,8	0,0265	402,180	8327,77
33	116,0	232	13011,09	3018573,2	0,0257	390,400	8718,17
32	112,5	225	13011,09	2927495,5	0,0249	378,621	9096,79
31	109,0	218	13011,09	2836417,9	0,0241	366,842	9463,63
30	105,5	211	13011,09	2745340,3	0,0234	355,062	9818,69
29	102,0	204	13231,03	2699131,1	0,0230	349,086	10167,78
28	98,5	197	13231,03	2606513,9	0,0222	337,107	10504,88
27	95,0	190	13231,03	2513896,6	0,0214	325,129	10830,01
26	91,5	183	13231,03	2421279,4	0,0206	313,151	11143,16
25	88,0	176	13231,03	2328662,1	0,0198	301,172	11444,34
24	84,5	169	13231,03	2236044,9	0,0190	289,194	11733,53
23	81,0	162	13231,03	2143427,6	0,0182	277,215	12010,75
22	77,5	155	15451,72	2395017,1	0,0204	309,754	12320,50
21	74,0	148	13470,75	1993670,8	0,0170	257,847	12578,35
20	70,5	141	13470,75	1899375,5	0,0162	245,651	12823,99
19	67,0	134	13470,75	1805080,3	0,0154	233,456	13057,45
18	63,5	127	13470,75	1710785,1	0,0146	221,260	13278,71
17	60,0	120	13470,75	1616489,8	0,0138	209,065	13487,78
16	56,5	113	13470,75	1522194,6	0,0130	196,870	13684,65
15	53,0	106	13646,21	1446498,1	0,0123	187,079	13871,73
14	49,5	99	13646,21	1350974,7	0,0115	174,725	14046,45
13	46,0	92	13646,21	1255451,2	0,0107	162,371	14208,82
12	42,5	85	13646,21	1159927,8	0,0099	150,017	14358,84
11	39,0	78	13646,21	1064404,3	0,0091	137,662	14496,50
10	35,5	71	13646,21	968880,86	0,0082	125,308	14621,81
9	32,0	64	13646,21	873357,39	0,0074	112,954	14734,76
8	28,5	57	13835,26	788609,93	0,0067	101,993	14836,76
7	25,0	50	13835,26	691763,09	0,0059	89,468	14926,23
6	21,5	43	13835,26	594916,26	0,0051	76,942	15003,17
5	18,0	36	13835,26	498069,43	0,0042	64,417	15067,58
4	14,5	29	13835,26	401222,59	0,0034	51,891	15119,48
3	11,0	22	13835,26	304375,76	0,0026	39,366	15158,84
2	7,5	15	13835,26	207528,93	0,0018	26,840	15185,68
1	4,0	8	14167,29	113338,36	0,0010	14,658	15200,34
Total:			1331495,8	117528988	1,00	15200,34	

**Tabel 6. 17 Nilai F dan V arah Y**

Lantai	$h_i$	$h_i^k$	$w_i$	$w_i \cdot h^k$	$C_{vy}$	$F_y$	$V_y$
	(m)	(m)	(kN)	(kN.m)		(kN)	(kN)
51	178,5	357	1527,58	545347,74	0,0046	70,213	70,213
50	175,5	351	12252,09	4300484,8	0,0366	553,687	623,900
49	172,0	344	12630,52	4344897,1	0,0370	559,405	1183,305
48	168,5	337	12630,52	4256483,5	0,0362	548,022	1731,327
47	165,0	330	12630,52	4168069,9	0,0355	536,638	2267,965
46	161,5	323	12630,52	4079656,3	0,0347	525,255	2793,220
45	158,0	316	12630,52	3991242,7	0,0340	513,872	3307,092
44	154,5	309	12630,52	3902829,1	0,0332	502,489	3809,581
43	151,0	302	12810,92	3868897,2	0,0329	498,120	4307,701
42	147,5	295	12810,92	3779220,8	0,0322	486,574	4794,275
41	144,0	288	12810,92	3689544,4	0,0314	475,028	5269,303
40	140,5	281	12810,92	3599868,0	0,0306	463,482	5732,786
39	137,0	274	12810,92	3510191,5	0,0299	451,937	6184,722
38	133,5	267	12810,92	3420515,1	0,0291	440,391	6625,113
37	130,0	260	12810,92	3330838,7	0,0283	428,845	7053,958
36	126,5	253	13011,09	3291806,1	0,0280	423,820	7477,778
35	123,0	246	13011,09	3200728,5	0,0272	412,093	7889,871
34	119,5	239	13011,09	3109650,8	0,0265	400,367	8290,238
33	116,0	232	13011,09	3018573,2	0,0257	388,641	8678,879
32	112,5	225	13011,09	2927495,5	0,0249	376,915	9055,794
31	109,0	218	13011,09	2836417,9	0,0241	365,188	9420,982
30	105,5	211	13011,09	2745340,3	0,0234	353,462	9774,444
29	102,0	204	13231,03	2699131,1	0,0230	347,513	10121,957
28	98,5	197	13231,03	2606513,9	0,0222	335,588	10457,545
27	95,0	190	13231,03	2513896,6	0,0214	323,664	10781,209
26	91,5	183	13231,03	2421279,4	0,0206	311,739	11092,948
25	88,0	176	13231,03	2328662,1	0,0198	299,815	11392,763
24	84,5	169	13231,03	2236044,9	0,0190	287,890	11680,654
23	81,0	162	13231,03	2143427,6	0,0182	275,966	11956,620
22	77,5	155	15451,72	2395017,1	0,0204	308,358	12264,978
21	74,0	148	13470,75	1993670,8	0,0170	256,685	12521,663
20	70,5	141	13470,75	1899375,5	0,0162	244,544	12766,207
19	67,0	134	13470,75	1805080,3	0,0154	232,404	12998,611
18	63,5	127	13470,75	1710785,1	0,0146	220,263	13218,874
17	60,0	120	13470,75	1616489,8	0,0138	208,123	13426,997
16	56,5	113	13470,75	1522194,6	0,0130	195,982	13622,979
15	53,0	106	13646,21	1446498,1	0,0123	186,236	13809,216
14	49,5	99	13646,21	1350974,7	0,0115	173,938	13983,154
13	46,0	92	13646,21	1255451,2	0,0107	161,639	14144,793
12	42,5	85	13646,21	1159927,8	0,0099	149,341	14294,133
11	39,0	78	13646,21	1064404,3	0,0091	137,042	14431,175

**Tabel 6. 17 Nilai F dan V arah Y (Lanjutan)**

Lantai	$h_i$	$h_i^k$	$w_i$	$w_i \cdot h^k$	$C_{vy}$	$F_y$	$V_y$
	(m)	(m)	(kN)	(kN.m)		(kN)	(kN)
10	35,5	71	13646,21	968880,86	0,0082	124,743	14555,919
9	32,0	64	13646,21	873357,39	0,0074	112,445	14668,363
8	28,5	57	13835,26	788609,93	0,0067	101,533	14769,897
7	25,0	50	13835,26	691763,09	0,0059	89,064	14858,961
6	21,5	43	13835,26	594916,26	0,0051	76,595	14935,556
5	18,0	36	13835,26	498069,43	0,0042	64,126	14999,683
4	14,5	29	13835,26	401222,59	0,0034	51,657	15051,340
3	11,0	22	13835,26	304375,76	0,0026	39,188	15090,528
2	7,5	15	13835,26	207528,93	0,0018	26,719	15117,248
1	4,0	8	14167,29	113338,36	0,0010	14,592	15131,840
Total:			1331495,8	117528988	1,00	15131,84	

### 6.3.6. Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012 Ps. 7.8.7 pengaruh P-Delta dapat diabaikan bila koefisien stabilitas ( $\theta$ )  $\leq 0,1$  dengan persamaan untuk mencari koefisien stabilitas adalah sebagai berikut:

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d}$$

Dimana:

$P_x$  = Beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat x

$\Delta$  = Simpangan antar lantai tingkat desain

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

$V_x$  = Gaya geser seismik antara tingkat x dan x-1

$h_{sx}$  = Tinggi tingkat di bawah x

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) tidak boleh lebih besar dari  $\theta_{max}$ , dimana  $\theta_{max}$  ditentukan oleh:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \leq 0,25 \rightarrow \frac{0,5}{1,4,5} \leq 0,25 \rightarrow 0,11 \leq 0,25$$

Sehingga untuk nilai  $\theta_{max} = 0,11$  dengan ketentuan jika nilai dari  $\theta \leq 0,1$  pengaruh P-Delta dapat diabaikan. Jika  $\theta > 0,1$  namun tidak lebih besar dari  $\theta_{max}$ , pengaruh P-Delta harus ditinjau. Dan jika  $\theta > \theta_{max}$ , bangunan berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang. Dari persamaan dan ketentuan tersebut

maka pengaruh P-Delta dapat dianalisa dan disajikan dalam bentuk Tabel 6.18 dan Tabel 6.19.

**Tabel 6. 18 Pengaruh P-Delta arah X**

Lt.	$\Delta$ (mm)	$I_e$	$h_{sx}$ (mm)	$C_d$	$V_x$ (kN)	$P_x$ (kN)	$\theta$	Pengaruh P-Delta
51	29,70	1	3000	4,5	70,531	1527,58	0,0476	Diabaikan
50	34,20	1	3500	4,5	626,725	13779,68	0,0477	Diabaikan
49	34,65	1	3500	4,5	1188,66	26410,19	0,0489	Diabaikan
48	34,65	1	3500	4,5	1739,16	39040,71	0,0494	Diabaikan
47	34,65	1	3500	4,5	2278,23	51671,22	0,0499	Diabaikan
46	34,20	1	3500	4,5	2805,86	64301,74	0,0498	Diabaikan
45	34,65	1	3500	4,5	3322,06	76932,25	0,0509	Diabaikan
44	34,65	1	3500	4,5	3826,83	89562,77	0,0515	Diabaikan
43	34,65	1	3500	4,5	4327,20	102373,69	0,0520	Diabaikan
42	34,20	1	3500	4,5	4815,98	115184,61	0,0519	Diabaikan
41	34,65	1	3500	4,5	5293,16	127995,52	0,0532	Diabaikan
40	34,20	1	3500	4,5	5758,74	140806,44	0,0531	Diabaikan
39	34,20	1	3500	4,5	6212,72	153617,36	0,0537	Diabaikan
38	34,20	1	3500	4,5	6655,11	166428,28	0,0543	Diabaikan
37	34,20	1	3500	4,5	7085,89	179239,19	0,0549	Diabaikan
36	33,75	1	3500	4,5	7511,63	192250,29	0,0548	Diabaikan
35	33,75	1	3500	4,5	7925,59	205261,38	0,0555	Diabaikan
34	33,30	1	3500	4,5	8327,77	218272,47	0,0554	Diabaikan
33	33,30	1	3500	4,5	8718,17	231283,56	0,0561	Diabaikan
32	32,85	1	3500	4,5	9096,79	244294,65	0,0560	Diabaikan
31	32,85	1	3500	4,5	9463,63	257305,74	0,0567	Diabaikan
30	31,95	1	3500	4,5	9818,69	270316,84	0,0558	Diabaikan
29	31,95	1	3500	4,5	10167,78	283547,87	0,0566	Diabaikan
28	31,95	1	3500	4,5	10504,88	296778,91	0,0573	Diabaikan
27	31,05	1	3500	4,5	10830,01	310009,94	0,0564	Diabaikan
26	30,60	1	3500	4,5	11143,16	323240,98	0,0564	Diabaikan
25	30,15	1	3500	4,5	11444,34	336472,01	0,0563	Diabaikan
24	29,70	1	3500	4,5	11733,53	349703,05	0,0562	Diabaikan
23	27,90	1	3500	4,5	12010,75	362934,08	0,0535	Diabaikan
22	26,55	1	3500	4,5	12320,50	378385,81	0,0518	Diabaikan
21	29,25	1	3500	4,5	12578,35	391856,55	0,0579	Diabaikan
20	27,90	1	3500	4,5	12823,99	405327,30	0,0560	Diabaikan
19	27,90	1	3500	4,5	13057,45	418798,05	0,0568	Diabaikan
18	27,45	1	3500	4,5	13278,71	432268,80	0,0567	Diabaikan



**Tabel 6. 18 Pengaruh P-Delta arah X (Lanjutan)**

Lt.	$\Delta$ (mm)	$I_e$	$h_{sx}$ (mm)	$C_d$	$V_x$ (kN)	$P_x$ (kN)	$\theta$	Pengaruh P-Delta
17	27,00	1	3500	4,5	13487,78	445739,55	0,0567	Diabaikan
16	26,55	1	3500	4,5	13684,65	459210,29	0,0566	Diabaikan
15	26,10	1	3500	4,5	13871,73	472856,51	0,0565	Diabaikan
14	25,20	1	3500	4,5	14046,45	486502,72	0,0554	Diabaikan
13	24,75	1	3500	4,5	14208,82	500148,93	0,0553	Diabaikan
12	23,85	1	3500	4,5	14358,84	513795,14	0,0542	Diabaikan
11	22,50	1	3500	4,5	14496,50	527441,34	0,0520	Diabaikan
10	21,60	1	3500	4,5	14621,81	541087,55	0,0508	Diabaikan
9	20,70	1	3500	4,5	14734,76	554733,76	0,0495	Diabaikan
8	18,90	1	3500	4,5	14836,76	568569,03	0,0460	Diabaikan
7	17,55	1	3500	4,5	14926,23	582404,29	0,0435	Diabaikan
6	15,75	1	3500	4,5	15003,17	596239,55	0,0397	Diabaikan
5	13,50	1	3500	4,5	15067,58	610074,81	0,0347	Diabaikan
4	12,15	1	3500	4,5	15119,48	623910,07	0,0318	Diabaikan
3	9,45	1	3500	4,5	15158,84	637745,34	0,0252	Diabaikan
2	6,75	1	3500	4,5	15185,68	651580,59	0,0184	Diabaikan
1	4,50	1	4000	4,5	15200,34	665747,89	0,0109	Diabaikan

**Tabel 6. 19 Pengaruh P-Delta arah Y**

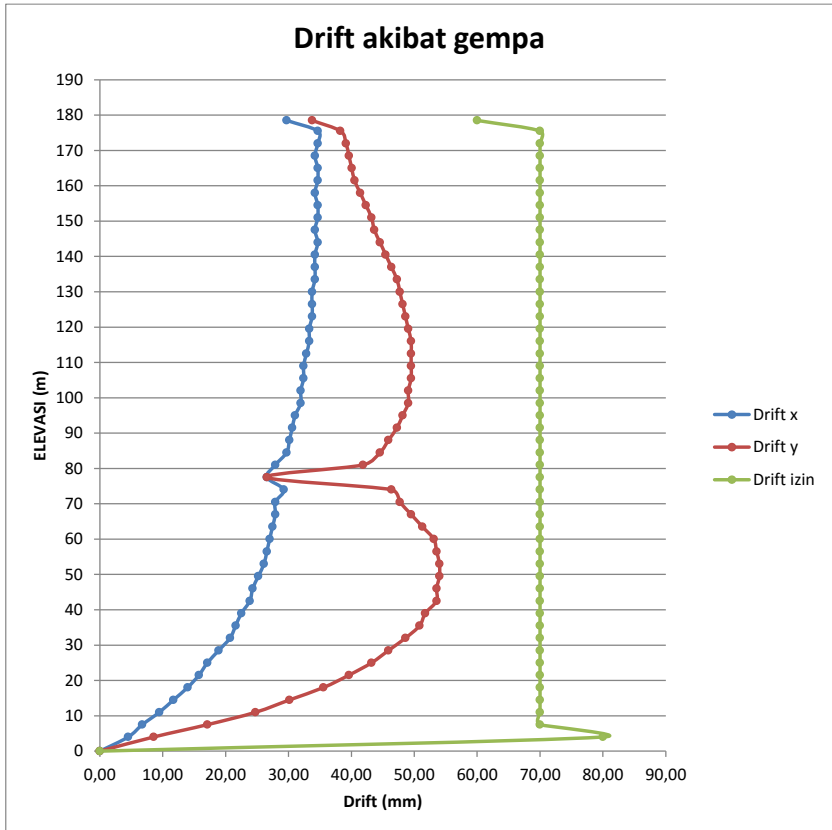
Lt.	$\Delta$ (mm)	$I_e$	$h_{sy}$ (mm)	$C_d$	$V_y$ (kN)	$P_y$ (kN)	$\theta$	Pengaruh P-Delta
51	30,15	1	3000	4,5	70,531	1527,58	0,0478	Diabaikan
50	33,75	1	3500	4,5	626,725	13779,68	0,0473	Diabaikan
49	34,65	1	3500	4,5	1188,66	26410,19	0,0491	Diabaikan
48	34,65	1	3500	4,5	1739,16	39040,71	0,0496	Diabaikan
47	35,55	1	3500	4,5	2278,23	51671,22	0,0514	Diabaikan
46	35,55	1	3500	4,5	2805,86	64301,74	0,0520	Diabaikan
45	36,45	1	3500	4,5	3322,06	76932,25	0,0538	Diabaikan
44	36,90	1	3500	4,5	3826,83	89562,77	0,0551	Diabaikan
43	37,35	1	3500	4,5	4327,20	102373,69	0,0564	Diabaikan
42	38,25	1	3500	4,5	4815,98	115184,61	0,0583	Diabaikan
41	38,70	1	3500	4,5	5293,16	127995,52	0,0597	Diabaikan
40	39,15	1	3500	4,5	5758,74	140806,44	0,0611	Diabaikan
39	40,05	1	3500	4,5	6212,72	153617,36	0,0632	Diabaikan
38	40,50	1	3500	4,5	6655,11	166428,28	0,0646	Diabaikan
37	40,50	1	3500	4,5	7085,89	179239,19	0,0653	Diabaikan
36	41,40	1	3500	4,5	7511,63	192250,29	0,0676	Diabaikan

**Tabel 6. 19 Pengaruh P-Delta arah Y (Lanjutan)**

Lt.	$\Delta$ (mm)	$I_e$	$h_{sy}$ (mm)	$C_d$	$V_y$ (kN)	$P_y$ (kN)	$\theta$	Pengaruh P-Delta
35	41,40	1	3500	4,5	7925,59	205261,38	0,0684	Diabaikan
34	41,40	1	3500	4,5	8327,77	218272,47	0,0692	Diabaikan
33	41,85	1	3500	4,5	8718,17	231283,56	0,0708	Diabaikan
32	41,85	1	3500	4,5	9096,79	244294,65	0,0717	Diabaikan
31	41,85	1	3500	4,5	9463,63	257305,74	0,0726	Diabaikan
30	41,40	1	3500	4,5	9818,69	270316,84	0,0727	Diabaikan
29	40,95	1	3500	4,5	10167,78	283547,87	0,0728	Diabaikan
28	40,95	1	3500	4,5	10504,88	296778,91	0,0738	Diabaikan
27	40,05	1	3500	4,5	10830,01	310009,94	0,0731	Diabaikan
26	39,15	1	3500	4,5	11143,16	323240,98	0,0724	Diabaikan
25	38,70	1	3500	4,5	11444,34	336472,01	0,0726	Diabaikan
24	36,90	1	3500	4,5	11733,53	349703,05	0,0601	Diabaikan
23	34,65	1	3500	4,5	12010,75	362934,08	0,0668	Diabaikan
22	22,50	1	3500	4,5	12320,50	378385,81	0,0441	Diabaikan
21	38,25	1	3500	4,5	12578,35	391856,55	0,0760	Diabaikan
20	39,60	1	3500	4,5	12823,99	405327,30	0,0798	Diabaikan
19	41,40	1	3500	4,5	13057,45	418798,05	0,0847	Diabaikan
18	42,30	1	3500	4,5	13278,71	432268,80	0,0878	Diabaikan
17	44,10	1	3500	4,5	13487,78	445739,55	0,0930	Diabaikan
16	44,10	1	3500	4,5	13684,65	459210,29	0,0944	Diabaikan
15	45,00	1	3500	4,5	13871,73	472856,51	0,0978	Diabaikan
14	45,00	1	3500	4,5	14046,45	486502,72	0,0994	Diabaikan
13	44,55	1	3500	4,5	14208,82	500148,93	0,1000	Ditinjau
12	44,55	1	3500	4,5	14358,84	513795,14	0,1017	Ditinjau
11	43,65	1	3500	4,5	14496,50	527441,34	0,1013	Ditinjau
10	42,30	1	3500	4,5	14621,81	541087,55	0,0998	Diabaikan
9	40,95	1	3500	4,5	14734,76	554733,76	0,0983	Diabaikan
8	39,15	1	3500	4,5	14836,76	568569,03	0,0957	Diabaikan
7	36,90	1	3500	4,5	14926,23	582404,29	0,0918	Diabaikan
6	34,20	1	3500	4,5	15003,17	596239,55	0,0867	Diabaikan
5	30,60	1	3500	4,5	15067,58	610074,81	0,0790	Diabaikan
4	26,55	1	3500	4,5	15119,48	623910,07	0,0699	Diabaikan
3	21,60	1	3500	4,5	15158,84	637745,34	0,0580	Diabaikan
2	15,75	1	3500	4,5	15185,68	651580,59	0,0431	Diabaikan
1	7,65	1	4000	4,5	15200,34	665747,89	0,0187	Diabaikan

Karena pada tingkat lantai 11-13 arah Y nilai koefisien stabilitas  $0,1 < \theta < 0,11$  maka pengaruh P-Delta harus ditinjau,

tetapi tidak perlu melakukan desain ulang. Setelah nilai P-Delta di-input pada program bantu ETABS, perlu dicek ulang simpangan bangunan yang terjadi. Dimana simpangan yang terjadi dengan pengaruh P-Delta disajikan pada Gambar 6.6.



**Gambar 6. 6 Simpangan akibat pengaruh P-Delta**

Dari Gambar 6.6 dapat dilihat bahwa simpangan yang terjadi mengalami pembesaran daripada simpangan tanpa pengaruh P-Delta (Gambar 6.5). Namun simpangan yang terjadi tidak melebihi batasan yang diijinkan.

### 6.3.7. Kontrol Torsi Bawaan dan Torsi Tak Terduga

Seperti yang dijelaskan pada SNI 1726:2012 7.8.4.1 bahwa torsi bawaan dihasilkan dari eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Dari *output* ETABS didapat hasil seperti pada Tabel 6.20.

**Tabel 6. 20 Pusat massa dan pusat kekakuan**

Lantai	Pusat Massa		Pusat Kekakuan		Eksentrisitas	
	XCM (m)	YCM (m)	XCR (m)	YCR (m)	eX (m)	eY (m)
51	27	7,8	27	7,8	0	0
50	27	7,8	27	7,8	0	0
49	27	7,8	27	7,8	0	0
48	27	7,8	27	7,8	0	0
47	27	7,8	27	7,8	0	0
46	27	7,8	27	7,8	0	0
45	27	7,8	27	7,8	0	0
44	27	7,8	27	7,8	0	0
43	27	7,8	27	7,8	0	0
42	27	7,8	27	7,8	0	0
41	27	7,8	27	7,8	0	0
40	27	7,8	27	7,8	0	0
39	27	7,8	27	7,8	0	0
38	27	7,8	27	7,8	0	0
37	27	7,8	27	7,8	0	0
36	27	7,8	27	7,8	0	0
35	27	7,8	27	7,8	0	0
34	27	7,8	27	7,8	0	0
33	27	7,8	27	7,8	0	0
32	27	7,8	27	7,8	0	0
31	27	7,8	27	7,8	0	0
30	27	7,8	27	7,8	0	0
29	27	7,8	27	7,8	0	0
28	27	7,8	27	7,8	0	0
27	27	7,8	27	7,8	0	0
26	27	7,8	27	7,8	0	0
25	27	7,8	27	7,8	0	0
24	27	7,8	27	7,8	0	0
23	27	7,8	27	7,8	0	0

**Tabel 6. 20 Pusat massa dan pusat kekakuan (Lanjutan)**

Lantai	Pusat Massa		Pusat Kekakuan		Eksentrisitas	
	XCM (m)	YCM (m)	XCR (m)	YCR (m)	eX (m)	eY (m)
22	27	7,8	27	7,8	0	0
21	27	7,8	27	7,8	0	0
20	27	7,8	27	7,8	0	0
19	27	7,8	27	7,8	0	0
18	27	7,8	27	7,8	0	0
17	27	7,8	27	7,8	0	0
16	27	7,8	27	7,8	0	0
15	27	7,8	27	7,8	0	0
14	27	7,8	27	7,8	0	0
13	27	7,8	27	7,8	0	0
12	27	7,8	27	7,8	0	0
11	27	7,8	27	7,8	0	0
10	27	7,8	27	7,8	0	0
9	27	7,8	27	7,8	0	0
8	27	7,8	27	7,8	0	0
7	27	7,8	27	7,8	0	0
6	27	7,8	27	7,8	0	0
5	27	7,8	27	7,8	0	0
4	27	7,8	27	7,8	0	0
3	27	7,8	27	7,8	0	0
2	27	7,8	27	7,8	0	0
1	27	7,8	27	7,8	0	0

Untuk torsi tak terduga seperti yang dijelaskan pada SNI 1726:2012 Ps. 7.8.4.2 diakibatkan perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan tiap arah dengan jarak 5% dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang ditetapkan. Sehingga eksentresitas akibat torsi tak terduga dapat disajikan seperti pada Tabel 6.21.

**Tabel 6. 21 Eksentrisitas akibat torsi tak terduga**

<b>Lantai</b>	<b>Panjang Bentang Total Sumbu Lx (m)</b>	<b>Panjang Bentang Total Sumbu Ly (m)</b>	<b>0,5 Lx (m)</b>	<b>0,5 Ly (m)</b>
51	54	15,6	2,7	0,78
50	54	15,6	2,7	0,78
49	54	15,6	2,7	0,78
48	54	15,6	2,7	0,78
47	54	15,6	2,7	0,78
46	54	15,6	2,7	0,78
45	54	15,6	2,7	0,78
44	54	15,6	2,7	0,78
43	54	15,6	2,7	0,78
42	54	15,6	2,7	0,78
41	54	15,6	2,7	0,78
40	54	15,6	2,7	0,78
39	54	15,6	2,7	0,78
38	54	15,6	2,7	0,78
37	54	15,6	2,7	0,78
36	54	15,6	2,7	0,78
35	54	15,6	2,7	0,78
34	54	15,6	2,7	0,78
33	54	15,6	2,7	0,78
32	54	15,6	2,7	0,78
31	54	15,6	2,7	0,78
30	54	15,6	2,7	0,78
29	54	15,6	2,7	0,78
28	54	15,6	2,7	0,78
27	54	15,6	2,7	0,78
26	54	15,6	2,7	0,78
25	54	15,6	2,7	0,78
24	54	15,6	2,7	0,78
23	54	15,6	2,7	0,78
22	54	15,6	2,7	0,78
21	54	15,6	2,7	0,78
20	54	15,6	2,7	0,78
19	54	15,6	2,7	0,78
18	54	15,6	2,7	0,78
17	54	15,6	2,7	0,78
16	54	15,6	2,7	0,78

**Tabel 6. 21 Eksentrisitas akibat torsi tak terduga (Lanjutan)**

Lantai	Panjang Bentang Total Sumbu Lx (m)	Panjang Bentang Total Sumbu Ly (m)	0,5 Lx (m)	0,5 Ly (m)
15	54	15,6	2,7	0,78
14	54	15,6	2,7	0,78
13	54	15,6	2,7	0,78
12	54	15,6	2,7	0,78
11	54	15,6	2,7	0,78
10	54	15,6	2,7	0,78
9	54	15,6	2,7	0,78
8	54	15,6	2,7	0,78
7	54	15,6	2,7	0,78
6	54	15,6	2,7	0,78
5	54	15,6	2,7	0,78
4	54	15,6	2,7	0,78
3	54	15,6	2,7	0,78
2	54	15,6	2,7	0,78
1	54	15,6	2,7	0,78

Menurut SNI 1726:2012 Ps.7.8.4.3 faktor pembesaran torsi ( $A_x$ )  $\leq 3$  pembebanan yang lebih parah untuk masing – masing elemen harus ditinjau untuk desain, dengan nilai  $A_x$ :

$$A_x = \left( \frac{\delta_{max}}{1,2 \delta_{Avg}} \right)^2$$

Dimana:

$\delta_{max}$  = Perpindahan maksimum di tingkat x

$\delta_{Avg}$  = Rata – rata perpindahan di titik – titik terjauh struktur

Berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 10 struktur dikategorikan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b bila ketentuan dibawah ini terpenuhi:

$\delta_{max} < 1,2 \delta_{Avg}$  → Tanpa ketidakberaturan torsi

$1,2 \delta_{Avg} \leq \delta_{max} \leq 1,4 \delta_{Avg}$  → Ketidakberaturan torsi 1a

$\delta_{max} > 1,4 \delta_{Avg}$  → Ketidakberaturan torsi 1b

Dengan ketentuan – ketentuan di atas maka faktor pembesaran torsi dapat disajikan seperti pada Tabel 6.22 untuk arah X dan Tabel 6.23 arah Y.

**Tabel 6. 22 Faktor pembesaran arah X**

Lt.	$\delta_{\max}$ (mm)	$\delta_{\min}$ (mm)	$\delta_{\text{Avg}}$ (mm)	$1,2 \delta_{\text{Avg}}$ (mm)	$A_x$	Cek $A_x \leq 3$	Keterangan
51	313,9	313,9	313,9	376,7	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
50	307,3	307,3	307,3	368,8	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
49	299,7	299,7	299,7	359,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
48	292,0	292,0	292,0	350,4	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
47	284,3	284,3	284,3	341,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
46	276,6	276,6	276,6	331,9	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
45	269,0	269,0	269,0	322,8	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
44	261,3	261,3	261,3	313,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
43	253,6	253,6	253,6	304,3	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
42	245,9	245,9	245,9	295,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
41	238,3	238,3	238,3	286,0	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
40	230,6	230,6	230,6	276,7	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
39	223,0	223,0	223,0	267,7	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
38	215,4	215,4	215,4	258,5	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
37	207,8	207,8	207,8	249,4	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
36	200,2	200,2	200,2	240,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
35	192,7	192,7	192,7	231,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
34	185,2	185,2	185,2	222,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
33	177,8	177,8	177,8	213,4	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
32	170,4	170,4	170,4	204,5	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
31	163,1	163,1	163,1	195,7	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
30	155,8	155,8	155,8	187,0	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
29	148,7	148,7	148,7	178,4	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
28	141,6	141,6	141,6	169,9	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
27	134,5	134,5	134,5	161,4	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
26	127,6	127,6	127,6	153,4	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
25	120,8	120,8	120,8	145,0	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
24	114,1	114,1	114,1	136,9	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
23	107,5	107,5	107,5	129,0	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
22	101,3	101,3	101,3	121,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
21	95,4	95,4	95,4	114,5	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
20	88,9	88,9	88,9	106,7	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
19	82,7	82,7	82,7	99,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
18	76,5	76,5	76,5	91,8	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
17	70,4	70,4	70,4	84,5	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
16	64,4	64,4	64,4	77,3	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
15	58,5	58,5	58,5	70,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan



**Tabel 6. 22 Faktor pembesaran arah X (Lanjutan)**

Lt.	$\delta_{\max}$ (mm)	$\delta_{\min}$ (mm)	$\delta_{\text{Avg}}$ (mm)	$1,2 \delta_{\text{Avg}}$ (mm)	$A_x$	Cek $A_x \leq 3$	Keterangan
14	52,7	52,7	52,7	63,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
13	47,1	47,1	47,1	56,5	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
12	41,6	41,6	41,6	49,9	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
11	36,3	36,3	36,3	43,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
10	31,3	31,3	31,3	37,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
9	26,5	26,5	26,5	31,8	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
8	21,9	21,9	21,9	26,3	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
7	17,7	17,7	17,7	21,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
6	13,8	13,8	13,8	16,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
5	10,3	10,3	10,3	12,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
4	7,3	7,3	7,3	8,76	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
3	4,6	4,6	4,6	5,52	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
2	2,5	2,5	2,5	3,0	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
1	1,0	1,0	1,0	1,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan

**Tabel 6. 23 Faktor pembesaran arah Y**

Lt.	$\delta_{\max}$ (mm)	$\delta_{\min}$ (mm)	$\delta_{\text{Avg}}$ (mm)	$1,2 \delta_{\text{Avg}}$ (mm)	$A_y$	Cek $A_x \leq 3$	Keterangan
51	423,4	423,4	423,4	508,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
50	416,7	416,7	416,7	500,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
49	409,2	409,2	409,2	491,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
48	401,5	401,5	401,5	481,8	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
47	393,8	393,8	393,8	472,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
46	385,9	385,9	385,9	463,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
45	378,0	378,0	378,0	453,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
44	369,9	369,9	369,9	443,9	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
43	361,7	361,7	361,7	434,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
42	353,4	353,4	353,4	424,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
41	344,9	344,9	344,9	413,9	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
40	336,3	336,3	336,3	403,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
39	327,6	327,6	327,6	393,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
38	318,7	318,7	318,7	382,4	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
37	309,7	309,7	309,7	371,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
36	300,7	300,7	300,7	360,8	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
35	291,5	291,5	291,5	349,8	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
34	282,3	282,3	282,3	338,8	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
33	273,1	273,1	273,1	327,7	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan

**Tabel 6. 23 Faktor pembesaran arah Y (Lanjutan)**

Lt.	$\delta_{\max}$ (mm)	$\delta_{\min}$ (mm)	$\delta_{\text{Avg}}$ (mm)	$1,2 \delta_{\text{Avg}}$ (mm)	$A_y$	Cek $A_x \leq 3$	Keterangan
32	263,8	263,8	263,8	316,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
31	254,5	254,5	254,5	305,4	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
30	245,2	245,2	245,2	294,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
29	236,0	236,0	236,0	283,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
28	226,9	226,9	226,9	272,3	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
27	217,8	217,8	217,8	261,4	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
26	208,9	208,9	208,9	250,7	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
25	200,2	200,2	200,2	240,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
24	191,6	191,6	191,6	229,92	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
23	183,4	183,4	183,4	220,08	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
22	175,7	175,7	175,7	210,84	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
21	170,7	170,7	170,7	204,84	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
20	162,2	162,2	162,2	194,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
19	153,4	153,4	153,4	184,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
18	144,2	144,2	144,2	173,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
17	134,8	134,8	134,8	161,8	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
16	125,0	125,0	125,0	150,0	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
15	115,2	115,2	115,2	138,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
14	105,2	105,2	105,2	126,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
13	95,2	95,2	95,2	114,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
12	85,3	85,3	85,3	102,4	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
11	75,4	75,4	75,4	90,5	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
10	65,7	65,7	65,7	78,8	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
9	56,3	56,3	56,3	67,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
8	47,2	47,2	47,2	56,6	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
7	38,5	38,5	38,5	46,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
6	30,3	30,3	30,3	36,4	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
5	22,7	22,7	22,7	27,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
4	15,9	15,9	15,9	19,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
3	10,0	10,0	10,0	12,0	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
2	5,2	5,2	5,2	6,2	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan
1	1,7	1,7	1,7	2,1	0,694	<i>Okay</i>	Tanpa ketidak beraturan

## **BAB VII**

### **STRUKTUR PRIMER DAN OUTRIGGER**

#### **7.1. Perencanaan Struktur Primer**

Struktur primer/struktur utama berfungsi untuk menahan beban gravitasi dan beban lateral. Bangunan Apartemen Gunawangsa Tidar ini menggunakan sistem *outrigger* dan *belt truss*. Dimana faktor reduksi gempa ( $R$ ) yang digunakan sebesar 5. Sehingga detailing perencanaan struktur dibedakan menjadi dua, untuk rangka bangunan menggunakan detailing menengah sedangkan untuk dinding geser, balok *outrigger*, dan *belt truss* menggunakan detailing khusus. Semua tata cara perencanaan dan detailing struktur mengacu pada SNI 2847:2013.

##### **7.1.1. Balok Induk**

Balok merupakan salah satu elemen struktur yang harus memikul beban dari struktur sekunder untuk kemudian diteruskan ke kolom. Disamping itu, balok juga harus memikul beban gravitasi dan beban lateral. Analisa gaya dalam pada balok menggunakan program bantu ETABS.

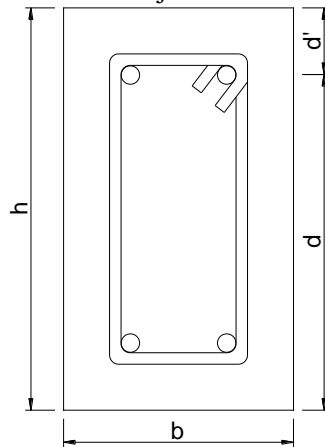
Pada bab ini akan diberikan contoh perhitungan penulangan balok induk sesuai dengan SNI 2847:2013 dengan detailing mengacu pada pasal 21.3 tentang rangka momen menengah. Hasil perhitungan balok induk tipe lain disajikan dalam bentuk tabel.

##### **Data perencanaan:**

Tipe balok	:	B2-E
Bentang balok	( $L$ )	: 7800 mm
Bentang bersih balok	( $L_n$ )	: 6600 mm
Dimensi balok	( $b$ )	: 400 mm
	( $h$ )	: 600 mm
Diameter tulangan	(lentur)	: 19 mm $\rightarrow A_s = 283,529 \text{ mm}^2$
	(geser)	: 10 mm $\rightarrow A_s = 78,539 \text{ mm}^2$

	(torsi)	: 19 mm $\rightarrow A_s = 283,529 \text{ mm}^2$
Mutu tulangan	(lentur) $f_y$	: 420 Mpa
	(geser) $f_y$	: 420 Mpa
	(torsi) $f_y$	: 420 Mpa
Selimut beton	(s)	: 40 mm
		(SNI 2847:2013 Ps. (7.7.1))
Mutu beton	( $f'_c$ )	: 30 Mpa
	( $\beta_1$ )	: $0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7}$
		(SNI 2847:2013 Ps.10.2.7.3)
		: $0,85 - 0,05 \frac{30 - 28}{7}$
		: 0,836

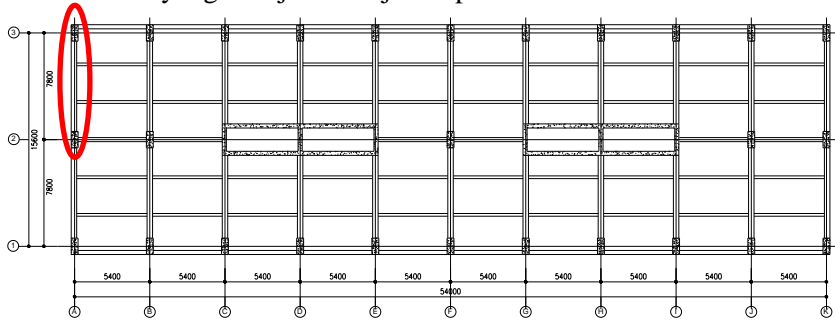
Tinggi efektif balok induk ditunjukkan Gambar 7.1.



**Gambar 7. 1 Tinggi efektif balok induk**

$$\begin{aligned}
 d &= h \text{ balok} - s \text{ balok} - D \text{ geser} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\
 &= 600 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{19}{2} \text{ mm} \\
 &= 540,5 \text{ mm} \\
 d' &= s \text{ balok} - D \text{ geser} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{19}{2} \text{ mm} \\
 &= 59,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Denah balok yang ditinjau ditunjukkan pada Gambar 7.2.



**Gambar 7. 2 Lokasi balok induk yang ditinjau**

Dari hasil analisa struktur, didapat *output* gaya dalam dari ETABS yang disajikan pada Tabel 7.1.

**Tabel 7. 1 *Output* gaya dalam balok induk**

Combo.	Tumpuan (kNm)		Lapangan (kNm)		Torsi (kNm)	Geser (kN)
	Negatif	Positif	Negatif	Positif		
Envelope	232,507	2,027	0	123,665	72,763	
1,2D+1L						144,584

**Cek syarat SRPMM:**

$$P_u < A_g \cdot f'_c \cdot 0,1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. (21.3.2))}$$

$$0 < (400 \times 600) \times 30 \times 0,1$$

$$0 < 720000 \text{ N} \rightarrow \text{Okay}$$

**Perhitungan momen torsi terfaktor:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.5.2.2 dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya dalam dengan adanya keretakan, maka  $T_u$  boleh diambil sebesar:

$$\phi \cdot 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana:

$$\phi = 0,75 \text{ (SNI 03-2847-2013 Ps. (9.3.2.3))}$$

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal) (SNI 2847:2013 Ps. (8.6.1))}$$

$$A_{cp}^2 = (400 \times 600)^2 = 57600000000 \text{ mm}^4$$

$$P_{cp} = 2 \times (400 + 600) = 2000 \text{ mm}^2$$

Maka:

$$T_u = 0,75 \cdot 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left( \frac{57600000000}{2000} \right) = 39041663,9 \text{ Nmm}$$

**Cek dimensi penampang untuk menahan torsi terfaktor:**

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 11.5.3.1 dimensi penampang harus memenuhi:

$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{b_w \cdot d} \right)^2 + \left( \frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A^2_{oh}} \right)^2} \leq \varphi \cdot \left( \frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \right)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} bh &= b - 2 \times s \text{ balok} - D \text{ geser} & Ph &= 2 \times (bh + hh) \\ &= 400 - (2 \times 40) - 10 & &= 2 \times (310 + 510) \\ &= 310 \text{ mm} & &= 158100 \text{ mm}^2 \\ hh &= h - 2 \times s \text{ balok} - D \text{ geser} & A_{oh} &= bh \times hh \\ &= 600 - (2 \times 40) - 10 & &= 310 \times 510 \\ &= 510 \text{ mm} & &= 158100 \text{ mm}^2 \\ V_c &= 0,17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,17 \cdot \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 540,5 \\ &= 201310 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka:

$$\sqrt{\left( \frac{144583,5}{400 \cdot 540,5} \right)^2 + \left( \frac{39041663,9 \cdot 1640}{1,7 \cdot 158100^2} \right)^2} \leq 0,75 \cdot \left( \frac{201310}{400 \cdot 540,5} + 0,66 \cdot \sqrt{30} \right)$$

$$1,65 < 3,41 \rightarrow \text{Okay}$$

**Perhitungan tulangan transversal penahan torsi:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.5.3.6 perhitungan tulangan transversal penahan torsi adalah sebagai berikut:

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 158100 = 134385 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta$$

$$\frac{T_u}{\varphi} = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cdot \cot \theta$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_u}{\varphi \cdot 2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{39041663,9}{0,75 \cdot 2 \cdot 134385 \cdot 420 \cdot \cot 45^\circ} \\ &= 0,461 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

**Perhitungan tulangan longitudinal penahan torsi:**

Luas tulangan longitudinal penahan torsi sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 11.5.3.7:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times P_h \times \frac{f_{yt}}{f_y} \times \cot^2 \theta \\ &= 0,461 \times 1640 \times \frac{420}{420} \times \cot^2 45 \\ &= 756,277 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dan tidak boleh kurang dari yang ditentukan pada SNI 2847:2013 Ps. 11.5.5.3:

$$\begin{aligned} A_{l \min} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_{cp}}{f_y} - \frac{A_t}{s} \times P_h \times \frac{f_{yt}}{f_{yt}} \\ &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{30} \cdot 240000}{420} - 0,461 \times 1640 \times \frac{420}{420} \\ &= 588,257 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena  $A_l > A_{l \min}$ , maka pakai = 1409,49 mm<sup>2</sup>

Luasan tulangan puntir untuk lentur didistribusikan merata ke 4 sisi balok:

$$\frac{A_l}{4} = \frac{756,277}{4} = 189,069 \text{ mm}^2$$

**Tulangan puntir yang dipasang:**

$$\frac{A_{st}}{A_{s \text{ tul.}}} = \frac{352,373}{283,352} = 0,667 \approx 1 \text{ buah/sisi}$$

Cek:

$$A_s \text{ pasang} > A_{st}$$

$$1 \times 283,529 > 189,069$$

$$283,529 \text{ mm}^2 > 189,069 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Okay}$$

Maka:

- Tulangan torsi pasang = 2 D19
- Luasan tambahan tul. lentur penahan torsi = 189,069 mm<sup>2</sup>
- Luasan tambahan tul. geser penahan torsi = 0,461 mm<sup>2</sup>

**Perhitungan tulangan longitudinal:**

- *Tumpuan momen negatif*

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j_d)}$$

Pada balok, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,9d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 232,507 \text{ kNm} \rightarrow 232507300 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{232507300}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 540,5)}$$

$$A_s \geq 1264,46 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{1264,46 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 52,066 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{52,066}{0,836} = 62,301 \text{ mm}$$

$$0,375d = 0,375 \cdot 540,5 = 202,688 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375d \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$62,301 \text{ mm} < 202,688 \text{ mm} \text{ (asumsi awal benar)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{232507300}{0,9 \cdot 420 \left(540,5 - \frac{52,066}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 1195,6 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{b \cdot d} = \frac{1195,604}{400 \cdot 540,5} = 0,0055$$

Cek syarat kebutuhan tulangan:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$$A_{s\min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1,37}{420} \times 400 \times 540,5$$

$$= 704,867 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{A_{s\min}}{b \times d}$$

$$= \frac{704,867}{400 \times 540,5}$$

$$A_{s\min} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 540,5$$

$$= 720,667 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{A_{s\min}}{b \times d}$$

$$= \frac{720,667}{400 \times 540,5}$$



$$= 0,0032$$

$$= 0,0033$$

Yang menentukan adalah  $\rho_{\min} = 0,0033$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,022\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0033 < 0,0055 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $A_{s\text{perlu}} = 1195,6 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$\begin{aligned}A_{s\text{perlu}} &= A_s \text{ lentur} + A_s \text{ penahan torsi} \\ &= 1195,6 \text{ mm}^2 + 189,069 \text{ mm}^2 \\ &= 1384,67 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$N_{tul} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tul}}} = \frac{1384,67}{283,523} = 4,88 \approx 6 \text{ buah}$$

Cek tulangan terpasang:

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$6 \times 283,529 > 1384,67$$

$$1701,17 \text{ mm}^2 > 1384,67 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Okay}$$

Cek Momen nominal:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{1701,17 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 70,048 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,9 \times 1701,17 \times 420 \times \left(540,5 - \frac{70,048}{2}\right) \\ &= 325042803,4 \text{ Nmm} > 232507300 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Okay}\end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 1 lapis, sebanyak 6 buah, maka:

$$S = \frac{b_w - 2s - N \cdot D - 2 \cdot D}{N - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 6 \cdot 19 - 2 \cdot 10}{6 - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 37,2 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} (\text{Okay})$$

→ Maka dipakai tulangan **6 D19**

- **Tumpuan momen positif**

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (jd)}$$

Pada balok, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,9d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 2,027 \text{ kNm} \rightarrow 2027500 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{2027500}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 540,5)}$$

$$A_s \geq 11,026 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{11,026 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 0,454 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{0,454}{0,836} = 0,543 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \cdot 540,5 = 202,688 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375dt \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$0,543 \text{ mm} < 202,688 \text{ mm} \text{ (*asumsi awal benar*)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{2027500}{0,9 \cdot 420 \left(540,5 - \frac{0,454}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 9,928 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{A_{s\text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{9,928}{400 \cdot 540,5} = 0,000045$$

Cek syarat kebutuhan tulangan:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$$\begin{aligned} A_{S\min} &= \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d & A_{S\min} &= \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \\ &= \frac{1,37}{420} \times 400 \times 540,5 & &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 540,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{704,867 \text{ mm}^2}{b \times d} = \frac{704,867}{400 \times 540,5} = 0,0032 \\
 \rho_{\min} &= \frac{As_{\min}}{b \times d} = \frac{720,667}{400 \times 540,5} = 0,0033
 \end{aligned}$$

Yang menentukan adalah  $\rho_{\min} = 0,0033$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,022
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0033 > 0,000045 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $As_{\min} = 720,667 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ lentur} + A_s \text{ penahan torsi} \\
 &= 720,667 \text{ mm}^2 + 189,069 \text{ mm}^2 \\
 &= 909,736 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$N_{tul} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{\text{tul}}} = \frac{909,736}{283,523} = 3,208 \approx 4 \text{ buah}$$

Cek tulangan terpasang:

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$4 \times 283,529 > 909,736$$

$$1134,11 \text{ mm}^2 > 909,736 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Okay}$$

Cek Momen nominal:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{1134,11 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 46,699 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \times 1134,11 \times 420 \times \left( 540,5 - \frac{46,699}{2} \right) \\
 &= 221700098 \text{ Nmm} > 2027500 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Okay}
 \end{aligned}$$

Syarat SNI 2847:2013 Ps. 21.3.4.1:

$$M_n > 1/3 M_n \text{ tumpuan momen negatif}$$

$$221700098 \geq 1/3 \times 325042803,4$$

$$221700098 \text{ Nmm} > 108347601,1 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Okay}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 1 lapis, sebanyak 4 buah, maka:

$$S = \frac{b_w - 2s - N.D - 2.D}{N-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 4.19 - 2.10}{4-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 74,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} (\text{Okay})$$

→ Maka dipakai tulangan **4 D19**

### • *Lapangan momen positif*

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j_d)}$$

Pada balok, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,9d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 123,665 \text{ kNm} \rightarrow 123664800 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{123664800}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 540,5)}$$

$$A_s \geq 672,537 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{672,537 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 27,693 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{27,693}{0,836} = 33,136 \text{ mm}$$

$$0,375d = 0,375 \cdot 540,5 = 202,688 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375d \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$33,136 \text{ mm} < 202,688 \text{ mm} (\text{asumsi awal benar})$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{123664800}{0,9 \cdot 420 \left(540,5 - \frac{27,693}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 621,197 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{621,197}{400 \cdot 540,5} = 0,00287$$

Cek syarat kebutuhan tulangan:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$$\begin{aligned} A_{s_{\min}} &= \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d & A_{s_{\min}} &= \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \\ &= \frac{1,37}{420} \times 400 \times 540,5 & &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 540,5 \\ &= 704,867 \text{ mm}^2 & &= 720,667 \text{ mm}^2 \\ \rho_{\min} &= \frac{A_{s_{\min}}}{b \times d} & \rho_{\min} &= \frac{A_{s_{\min}}}{b \times d} \\ &= \frac{704,867}{400 \times 540,5} & &= \frac{720,667}{400 \times 540,5} \\ &= 0,0032 & &= 0,0033 \end{aligned}$$

Yang menentukan adalah  $\rho_{\min} = 0,0033$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,022 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0033 > 0,00287 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $A_{s_{\min}} = 720,667 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_s \text{ lentur} + A_s \text{ penahan torsi} \\ &= 720,667 \text{ mm}^2 + 189,069 \text{ mm}^2 \\ &= 909,736 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$N_{\text{tul}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tul}}} = \frac{909,736}{283,523} = 3208 \approx 4 \text{ buah}$$

Cek tulangan terpasang:

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$4 \times 283,529 > 909,736$$

$$1134,11 \text{ mm}^2 > 909,736 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Okay}$$

Cek Momen nominal:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{1134,11 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 46,699 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 1134,11 \times 420 \times \left( 540,5 - \frac{46,699}{2} \right) \\ &= 221700098 \text{ Nmm} > 123664800 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Okay} \end{aligned}$$

Syarat SNI 2847:2013 Ps. 21.3.4.1:

$M_n > 1/5 M_n$  tumpuan momen negatif

$$221700098 \geq 1/5 \times 325042803,4$$

$$221700098 \text{ Nmm} > 65008560,67 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Okay}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 1 lapis, sebanyak 4 buah, maka:

$$S = \frac{b_w - 2s - N \cdot D - 2 \cdot D}{N - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 4 \cdot 19 - 2 \cdot 10}{4 - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 74,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} (\text{Okay})$$

→ Maka dipakai tulangan **4 D19**

### • *Lapangan momen negatif*

Karena  $M_u = 0$  kNm, maka menggunakan tulangan minimum.

Cek syarat kebutuhan tul:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d & A_{smin} &= \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \\ &= \frac{1,37}{420} \times 400 \times 540,5 & &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 540,5 \\ &= 704,867 \text{ mm}^2 & &= 720,667 \text{ mm}^2 \\ \rho_{min} &= \frac{A_{smin}}{b \times d} & \rho_{min} &= \frac{A_{smin}}{b \times d} \\ &= \frac{704,867}{400 \times 540,5} & &= \frac{720,667}{400 \times 540,5} \\ &= 0,0032 & &= 0,0033 \end{aligned}$$

Yang menentukan adalah  $\rho_{min} = 0,0033$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\begin{aligned}
&= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
&= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
&= 0,022
\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0033 > 0 < 0,022$$

Karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $A_{s\min} = 720,667 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$\begin{aligned}
A_s \text{ perlu} &= A_s \text{ lentur} + A_s \text{ penahan torsi} \\
&= 720,667 \text{ mm}^2 + 189,069 \text{ mm}^2 \\
&= 909,736 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$N_{tul} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tul}}} = \frac{909,736}{283,523} = 3,208 \approx 4 \text{ buah}$$

Cek tulangan terpasang:

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$4 \times 283,529 > 909,736$$

$$1134,11 \text{ mm}^2 > 909,736 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Okay}$$

Cek Momen nominal:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{1134,11 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 46,699 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
&= 0,9 \times 1134,11 \times 420 \times \left(540,5 - \frac{46,699}{2}\right) \\
&= 221700098 \text{ Nmm} > 0 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Okay}
\end{aligned}$$

Syarat SNI 2847:2013 Ps. 21.3.4.1:

$$M_n > 1/5 M_{n \text{ tumpuan momen negatif}}$$

$$221700098 \geq 1/5 \times 325042803,4$$

$$221700098 \text{ Nmm} > 65008560,67 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Okay}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 1 lapis, sebanyak 4 buah, maka:

$$S = \frac{b_w - 2s - N \cdot D - 2 \cdot D}{N - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 4 \cdot 19 - 2 \cdot 10}{4 - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 74,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} (\text{Okay})$$

→ Maka dipakai tulangan **4 D19**

**Gaya geser desain ( $V_e$ ):**

- Momen nominal ujung balok SNI 2847:2013 Gbr. S21.3.3

$M_n$  tumpuan akibat tulangan momen negatif:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c,b}} = \frac{1701,17 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 70,048 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= \varphi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,9 \times 1701,17 \times 420 \times \left(540,5 - \frac{70,048}{2}\right) \\ &= 325042803,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$M_n$  tumpuan akibat tulangan momen positif:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c,b}} = \frac{1134,11 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 46,699 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{n2} &= \varphi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,9 \times 1134,11 \times 420 \times \left(540,5 - \frac{46,699}{2}\right) \\ &= 221700098 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Hitung gaya geser akibat  $M_n$  SNI 2847:2013 Gbr. S21.3.3

$V_u = 144,584 \text{ kN} = 144583,5 \text{ N}$  (combo 1,2D+1L)

➤ Struktur bergoyang ke kiri

$$V_{\text{sway\_ki}} = \frac{M_{n1} + M_{n2}}{l_n} = \frac{325042803,4 + 221700098,5}{6600} = 82839,8 \text{ N}$$

Reaksi ujung kiri balok

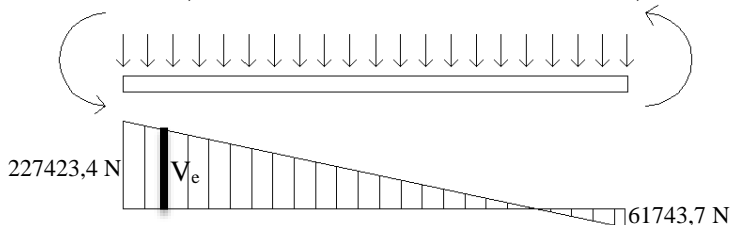
$$\begin{aligned} &= V_{\text{sway\_ki}} + V_u \\ &= 82839,8 \text{ N} + 144584 \text{ N} \\ &= 227423,4 \text{ N} \end{aligned}$$

Reaksi ujung kanan balok

$$\begin{aligned} &= V_{\text{sway\_ki}} - V_u \\ &= 82839,8 \text{ N} - 144583,5 \text{ N} \\ &= -61743,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M_{n1} = 325042803,4 \text{ Nmm}$$

$$M_{n2} = 221700098,5 \text{ Nmm}$$



**Gambar 7. 3 Reaksi ketika struktur bergoyang ke kiri**



Dari gambar 7.3 didapat nilai  $V_e$  sebesar:

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{227423,4}{\ln} \times (\ln - d) \\ &= \frac{227423,4}{6600} \times (6600 - 540,5) \\ &= 208798,7 \text{ N} \end{aligned}$$

➤ Struktur bergoyang ke kanan

$$V_{\text{sway\_ka}} = \frac{M_{n2} + M_{n1}}{\ln} = \frac{221700098,5 + 325042803,4}{6600} = 82839,8 \text{ N}$$

Reaksi ujung kiri balok

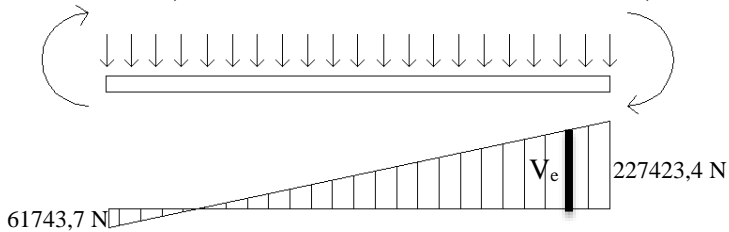
$$\begin{aligned} &= V_{\text{sway\_ka}} - V_u \\ &= 82839,8 \text{ N} - 144584 \text{ N} \\ &= -61743,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Reaksi ujung kanan balok

$$\begin{aligned} &= V_{\text{sway\_ki}} - V_u \\ &= 82839,8 \text{ N} - 144583,5 \text{ N} \\ &= 227423,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M_{n2} = 221700098,5 \text{ Nmm}$$

$$M_{n1} = 325042803,4 \text{ Nmm}$$



**Gambar 7. 4 Reaksi ketika struktur bergoyang ke kanan**

Dari gambar 7.4 didapat nilai  $V_e$  sebesar:

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{227423,4}{\ln} \times (\ln - d) \\ &= \frac{227423,4}{6600} \times (6600 - 540,5) \\ &= 208798,7 \text{ N} \end{aligned}$$

#### **Perhitungan tulangan transversal penahan geser dan torsi:**

- Hitung tulangan di daerah sendi plastis (daerah sepanjang  $2h$  dari muka kolom) dan di daerah luar sendi plastis sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.3.4.2. Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.2.1.1 kuat geser beton untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d \\
 &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 540,5 \\
 &= 201309,95 \text{ N}
 \end{aligned}$$

➤ Daerah sendi plastis

$$2 \times h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm dari muka kolom}$$

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{208798,7}{0,75} - 201309,95 = 77088,37 \text{ N}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{77088,37}{420 \times 540,5} = 0,3396 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

➤ Daerah luar sendi plastis

$$2 \times h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm di luar muka kolom}$$

$$V_e = \frac{(6600 - 1200) \times (227423,33 - 61743,67)}{6600} = 135556,09 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{135556,09}{0,75} - 201309,95 = -20568,49 \text{ N}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{-20568,49}{420 \times 540,5} = -0,0906 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Kebutuhan tulangan transversal penahan geser dan torsi:

➤ Daerah sendi plastis

$$\frac{A_{v+t}}{s} = \frac{A_v}{s} + \frac{A_t}{s} = 0,3396 + 0,461 = 0,801 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan sengkang 2 kaki diameter 10 mm:

$$A_s = 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{157,08}{0,801} = 196,172 \approx 130 \text{ mm}$$

Syarat jarak tulangan pada sendi plastis harus sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.3.4.2:

1. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.

2. Spasi sengkang tertutup tidak boleh lebih dari:

$$130 \text{ mm} < \frac{d}{4} = \frac{540,5}{4} = 135,125 \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 8 \times \text{tul. longitudinal} = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 24 \times \text{tul. transversal} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

Syarat memenuhi, maka digunakan **D10 – 130**

- Daerah luar sendi plastis

$$\frac{A_v+t}{s} = \frac{A_v}{s} + \frac{A_t}{s} = -0,0906 + 0,461 = 0,371 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan sengkang 2 kaki diameter 10 mm:

$$A_s = 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{157,08}{0,371} = 423,923 \approx 200 \text{ mm}$$

Syarat jarak tulangan pada sendi plastis harus sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.3.4.3:

$$200 \text{ mm} < \frac{d}{2} = \frac{540,5}{2} = 270,25 \text{ mm}$$

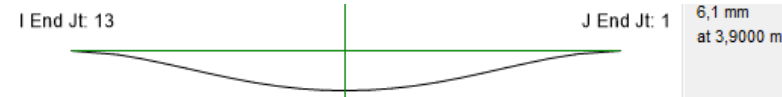
Syarat memenuhi, maka digunakan **D10 – 200**

### **Kontrol lendutan yang terjadi:**

Lendutan izin seketika harus memenuhi SNI 2847:2013 Tabel 9.5(b), yaitu:

$$\frac{ln}{360} = \frac{6600}{360} = 18,33 \text{ mm}$$

Dari output ETABS lendutan akibat kombinasi 1D+1L dapat dilihat pada Gambar 7.5.



**Gambar 7. 5 Grafik lendutan yang terjadi pada balok**

Dapat dilihat pada gambar 7.5 bahwa lendutan maksimum terjadi pada 3,9 m tengah bentang dengan lendutan sebesar 6,1 mm.

Cek:

$$\delta_{ijin} < \delta_{terjadi} \rightarrow 18,33 \text{ mm} > 6,1 \text{ mm} \rightarrow \text{Okay}$$

### **Kontrol retak:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 10.6.4, spasi tulangan terdekat ke muka tarik (S) tidak boleh melebihi yang diberikan oleh:

$$S = 380 \times \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 C_c$$

Tetapi tidak lebih besar dari:

$$S = 300 \times \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

Dimana:

$C_c$  = Jarak terkecil permukaan tulangan ke muka tarik = 40 mm

$$f_s = \frac{2}{3} \times f_y = \frac{2}{3} \times 420 = 280 \text{ Mpa}$$

Maka:

$$S = 380 \times \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 C_c = 380 \times \left( \frac{280}{280} \right) - 2,5 \times 40 = 280 \text{ mm}$$

$$S = 300 \times \left( \frac{280}{f_s} \right) = 300 \times \left( \frac{280}{280} \right) = 300 \text{ mm}$$

Cek:

Yang menentukan adalah 280 mm > 74,67 mm → **Okay**

### **Panjang penyaluran tulangan tarik:**

- Tulangan atas pada tumpuan yang terpasang sebanyak 6D 19, dimana 4 buah tulangan akan dipasang menerus sepanjang bentang dan 2 buah tulangan akan dipotong.  $M_n$  tulangan ini adalah sebagai berikut:

$$2D 19 \rightarrow A_s = 567,057 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c.b}} = \frac{567,057 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 23,349 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{n2} &= \phi \times A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 567,057 \times 420 \times \left( 540,5 - \frac{23,349}{2} \right) \\ &= 113352497 \text{ Nmm} \rightarrow 113,35 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Untuk mendapatkan lokasi kuat momen nominal rencana 113,35 kNm pada balok, ambil penjumlahan momen dengan menggunakan kombinasi beban 0,9D + kuat momen,  $M_n$  di ujung komponen seperti diilustrasikan pada Gambar 7.6.

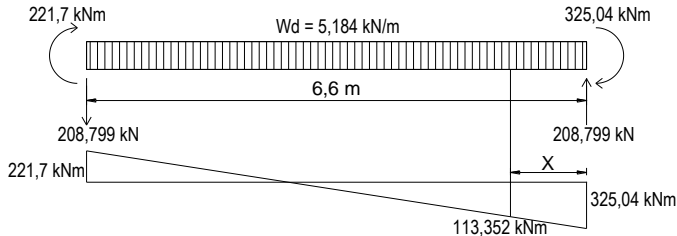
$$M_n = 325042803,4 \text{ Nmm} \rightarrow 325,043 \text{ kNm}$$

$$W_d = 0,4 \times 0,6 \times 24 \times 0,9 = 5,184 \text{ kN/m}$$

$$\frac{5,184}{2} X^2 - 208,799X + (325,043 - 221,7) = 0$$

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-69,23 \pm \sqrt{69,23^2 - 4(1,296)(32,321)}}{2(1,296)}$$

$$X = 0,498 \text{ m}$$



**Gambar 7. 6 Diagram momen pemberhentian tulangan**

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7.6 bahwa momen rencana sebesar 113,352 kNm terletak pada jarak 0,498 m dari muka tumpuan. Data ini dapat dipakai sebagai dasar untuk menentukan titik potong tulangan 6D 19. Nilai X perlu ditambahkan dengan ketentuan pada SNI 2847:2013 Ps. 12.10.3, yaitu:

$$X + 12 \text{ db} = 498 \text{ mm} + (12 \times 19) = 726 \text{ mm} \dots(i)$$

$$X + d = 498 \text{ mm} + 540,5 \text{ mm} = 1038,52 \text{ mm} \dots(ii)$$

Kedua nilai diatas perlu dibandingkan dengan nilai panjang penyaluran dalam kondisi tarik yang ditentukan oleh SNI 2847:2013 Ps. 12.2, yaitu:

$$db = 19 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (a))}$$

$$\psi_e = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (b))}$$

$$\psi_s = 0,8 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (c))}$$

$$\lambda = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (d))}$$

$$cb = 59,5 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = 0 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3 (d))}$$

Panjang penyaluran dihitung sesuai dengan rumus pada SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3:

$$\frac{cb + K_{tr}}{db} < 2,5 \rightarrow \frac{59,5 + 0}{19} < 2,5 \rightarrow 3,132 > 2,5 \rightarrow \text{pakai } 2,5$$

$$\begin{aligned} l_d &= \left( \frac{f_y}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c}} \times \frac{\psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s}{\left( \frac{cb + K_{tr}}{db} \right)} \right) \times db \\ &= \left( \frac{420}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \times \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,8}{(2,5)} \right) \times 19 \\ &= 423,838 \text{ mm} \dots (iii) \end{aligned}$$

$l_d \text{ min} = 300 \text{ mm} \dots(\text{iv})$  (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.1)

Dari nilai (i), (ii), (iii), (iv) diambil nilai terbesar yaitu 1038,52 mm  $\approx 1100 \text{ mm}$

### **Panjang penyaluran tulangan tekan:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 12.3 panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan ( $l_{dc}$ ) tidak boleh kurang dari:

- 200 mm
- $l_{dc} = \left( \frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \right) \times db = \left( \frac{0,24 \cdot 420}{1 \sqrt{30}} \right) \times 19 = 349,67 \text{ mm}$
- $l_{dc} = 0,043 f_y \times db = 0,043 \times 420 \times 19 = 343,14 \text{ mm}$

Yang menentukan adalah 349,67 mm  $\approx 350 \text{ mm}$

### **Panjang penyaluran tulangan berkait:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 12.5.2 panjang penyaluran tulangan berkait ( $l_{dh}$ ) diambil sesuai dengan nilai:

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times f_y \times db}{\sqrt{f_c}} = \frac{0,24 \times 420 \times 19}{\sqrt{30}} = 349,66 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

dan tidak boleh kurang dari:

- 350 mm  $> 8 db = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$
- 350 mm  $> 150 \text{ mm}$

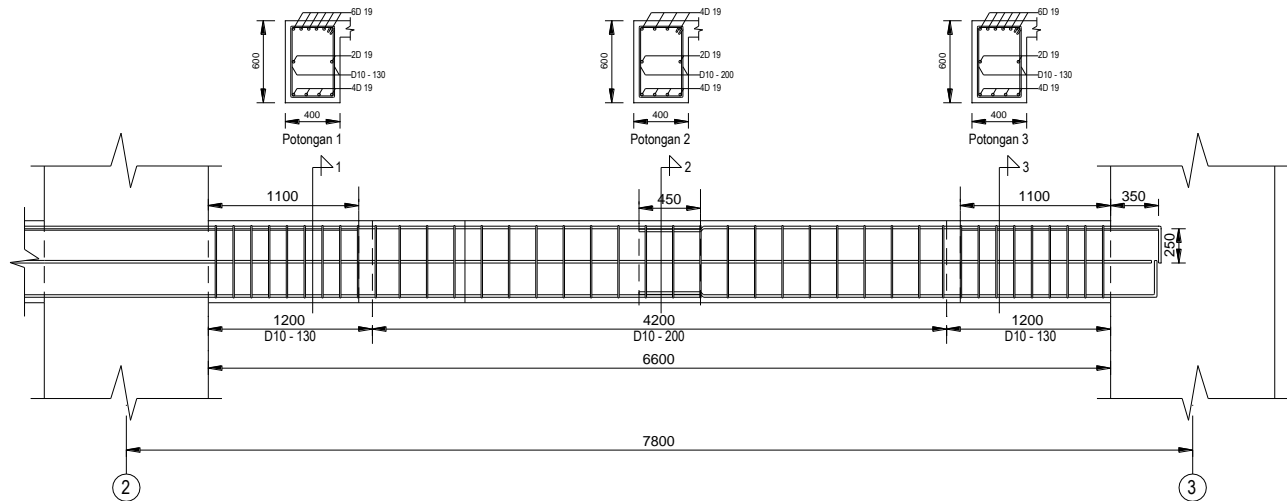
Maka dipakai  $l_{dh} = 350 \text{ mm}$

### **Hasil perhitungan tulangan:**

Torsi tumpuan – lapangan	= 4D 19
Longitudinal tumpuan momen negatif	= 6D 19
Longitudinal tumpuan momen positif	= 4D 19
Longitudinal lapangan momen positif	= 4D 19
Longitudinal lapangan momen negatif	= 4D 19
Transversal tumpuan	= D10 – 130
Transversal lapangan	= D10 – 200

**Sket hasil perhitungan tulangan:**

Dari hasil perhitungan, didapat sket penulangan balok seperti pada Gambar 7.7.



**Gambar 7. 7 Sket hasil perhitungan penulangan balok induk As. 2-A;3-A Lt.2**

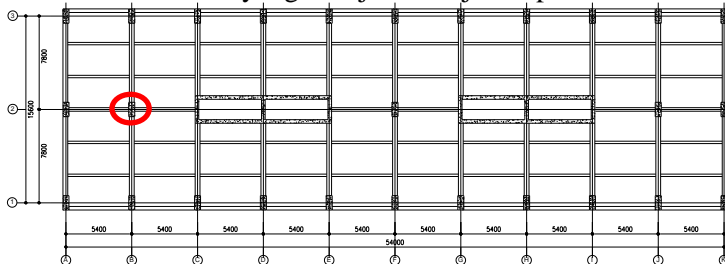
### 7.1.2. Kolom

Pada struktur Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya terdapat dua jenis kolom. Sebagai contoh perhitungan, akan didesain kolom interior yang terletak pada As 2-B.

#### Data perencanaan:

Tipe kolom	:	K-I (Lt.1)
Tinggi Kolom (L)	:	4000 mm $\rightarrow L_n = 3400$ mm
Dimensi kolom (b)	:	800 mm
	(h)	: 1300 mm
Diameter tulangan (lentur)	:	22 mm $\rightarrow A_s = 380,133$ mm <sup>2</sup>
	(geser)	: 13 mm $\rightarrow A_s = 132,732$ mm <sup>2</sup>
Mutu tulangan (lentur) $f_y$	:	420 Mpa
	(geser) $f_y$	: 420 Mpa
Selimut beton (s)	:	40 mm
		(SNI 2847:2013 Ps. (7.7.1))
Mutu beton ( $f'_c$ )	:	50 Mpa
	( $\beta_1$ )	: $0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7}$
		(SNI 2847:2013 Ps.10.2.7.3)
		: $0,85 - 0,05 \frac{50 - 28}{7}$
		: 0,693
Tinggi efektif ( $d_x$ )	:	736 mm
	( $d_y$ )	: 1236 mm
	( $d'$ )	: 64 mm

Denah kolom yang ditinjau ditunjukkan pada Gambar 7.2



**Gambar 7. 8 Denah lokasi kolom yang ditinjau**



**Gaya dalam kolom:**

Menggunakan program bantu ETABS, maka didapat gaya dalam kolom seperti yang disajikan pada Tabel 7.2 untuk kolom bawah dan Tabel 7.3 untuk kolom di atasnya.

**Tabel 7. 2 Output gaya dalam kolom bawah**

No.	Combo	P	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
		kN	kN	kN	kN.m	kN.m
1.	1,4D	25418,76	2,99	0	3,85	0
2.	1,2D+1,6L	26102,43	3,09	0	3,97	0
3.	1,2D+1,6L+0,5W	26090,37	3,71	18,67	6,92	120,09
4.	1,2D+1L+1W	24460,21	4,14	37,33	9,61	240,18
5.	1,2D+1L±RSPX	23363,12	82,15	72,26	350,67	460,97
6.	1,2D+1L±RSPY	23888,17	45,04	427,77	188,20	2728,96
7.	0,9D±1W	16316,51	3,17	37,33	8,36	240,18
8.	0,9D±RSPX	15219,41	81,18	72,26	349,43	460,97
9.	0,9D±RSPY	15744,46	44,07	427,77	186,95	2728,96

**Tabel 7. 3 Output gaya dalam kolom atas**

No.	Combo	P	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
		kN	kN	kN	kN.m	kN.m
1.	1,4D	24633,46	5,16	0	8,69	0
2.	1,2D+1,6L	25300,73	5,30	0	8,95	0
3.	1,2D+1,6L+0,5W	25288,71	5,35	7,82	9,67	52,86
4.	1,2D+1L+1W	23706,81	5,07	15,65	9,82	105,72
5.	1,2D+1L±RSPX	22612,78	10,34	28,61	76,87	204,90
6.	1,2D+1L±RSPY	23136,36	7,83	169,38	44,80	1213,02
7.	0,9D±1W	15811,76	3,42	15,65	7,02	105,72
8.	0,9D±RSPX	14717,73	8,68	28,61	74,07	204,90
9.	0,9D±RSPY	15241,30	6,17	169,38	42,01	1213,02

**Cek syarat SRPMM:**

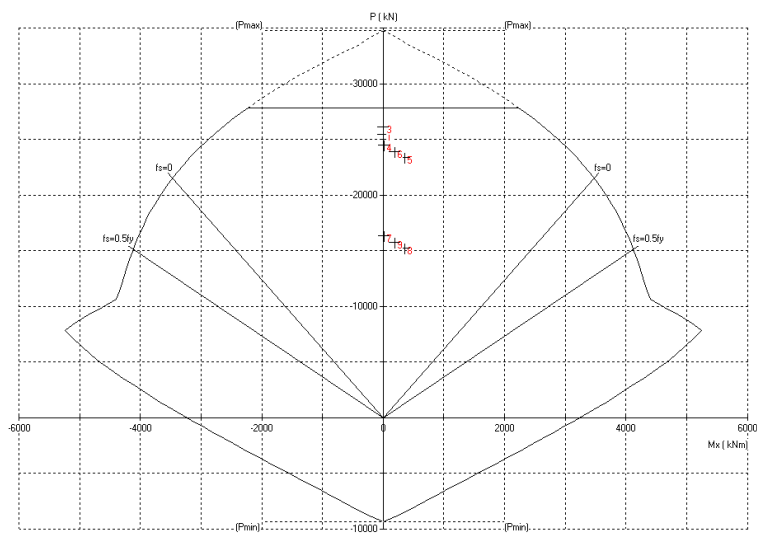
$$P_u > A_g \cdot f'_c \cdot 0,1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. (21.3.2))}$$

$$26102,4 \text{ kN} > (800 \times 1300) \times 50 \times 0,1$$

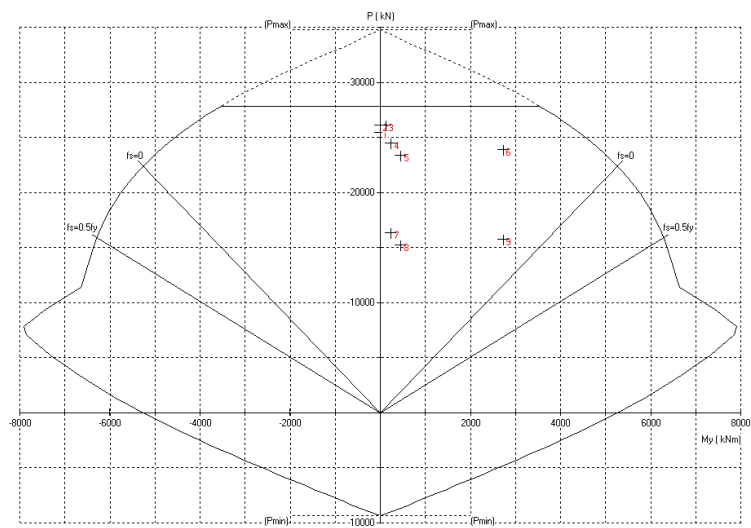
$$26102430,4 > 5200000 \text{ N} \rightarrow \text{Okay}$$

**Perencanaan tulangan lentur:**

Dengan menggunakan program bantu SpColumn, semua gaya dalam dari Tabel 7.2 dimasukan ke program bantu sebagai beban. Dari beberapa kali percobaan maka didapat *output* seperti pada Gambar 7.9 untuk arah x dan Gambar 7.10 untuk arah y.



Gambar 7. 9 Diagram interaksi kolom (arah x)



Gambar 7. 10 Diagram interaksi kolom (arah y)

Digunakan tulangan 64 D22 dengan rasio tulangan sebesar 2,38% dan jarak minimal antar tulangan sebesar 33,94 mm. Kemudian dilakukan kontrol pemasangan tulangan longitudinal berdasarkan SNI 2847:2013.

- Cek batas tulangan komponen tekan berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 10.9.1:  
 $1\% < 2,38\% < 8\%$  (*Okay*)
- Cek batas spasi bersih tulangan berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 7.6.1:  
 $33,94 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$  (*Okay*)

#### **Perencanaan tulangan geser:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.3.3.2 beban geser rencana kolom tidak boleh lebih kecil dari (a) dan (b) berikut ini:

- a) Gaya geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor.

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_n}$$

Didapat dari hasil output SpColumn dan disajikan dalam Tabel 7.4 untuk  $M_{nt}$  dan Tabel 7.5 untuk  $M_{nb}$ .

**Tabel 7. 4 Mn arah-X output SpColumn**

<b>M<sub>nb</sub> (M<sub>n</sub> kolom bawah)</b>				<b>M<sub>nt</sub> (M<sub>n</sub> kolom atas)</b>		
<b>No</b>	<b>P<sub>u</sub></b>	<b>M<sub>ux</sub></b>	<b>M<sub>nx</sub></b>	<b>P<sub>u</sub></b>	<b>M<sub>ux</sub></b>	<b>M<sub>nx</sub></b>
	<b>(kN)</b>	<b>(kNm)</b>	<b>(kNm)</b>	<b>(kN)</b>	<b>(kNm)</b>	<b>(kNm)</b>
1	25418	3	2792,62	24633	8	2129,28
2	26102	3	2644,71	25300	8	1975,89
3	26090	6	2647,39	25288	9	1978,74
4	24460	9	2984,93	23706	9	2327,72
5	23363	350	3184,41	22612	76	2539,93
6	23888	188	3091,71	23136	44	2441,12
7	16316	8	4029,78	15811	7	3419,64
8	15219	349	4110,64	14717	74	3507,08
9	15744	186	4073,04	15241	42	3466,42

Dipakai yang menentukan:

$$M_{nb} = 4110,64 \text{ kNm}$$

$$M_{nt} = 3507,08 \text{ kNm}$$

$$V_u = \frac{M_{nb} + M_{nt}}{L_n} = \frac{4110,64 + 3507,08}{3,4} = 2240,51 \text{ kN}$$

**Tabel 7. 5 Mn arah-Y output SpColumn**

M <sub>nb</sub> (M <sub>n</sub> kolom bawah)				M <sub>nt</sub> (M <sub>n</sub> kolom atas)			
No	P <sub>u</sub>	M <sub>ux</sub>	M <sub>nx</sub>	P <sub>u</sub>	M <sub>ux</sub>	M <sub>nx</sub>	
	(kN)	(kNm)	(kNm)		(kNm)	(kNm)	
1	25418	0	4418,99	24633	0	3464,14	
2	26102	0	4188,76	25300	0	3217,01	
3	26090	120	4192,94	25288	52	3221,61	
4	24460	240	4716,59	23706	105	3781,22	
5	23363	460	5022,13	22612	204	4118,83	
6	23888	2728	4880,71	23136	1213	3961,96	
7	16316	240	6247,78	15811	105	5455,16	
8	15219	460	6352,54	14717	204	5575,15	
9	15744	2728	6303,09	15241	1213	5520,40	

Dipakai yang menentukan:

$$M_{nb} = 6352,54 \text{ kNm}$$

$$M_{nt} = 5575,18 \text{ kNm}$$

$$V_u = \frac{M_{nb} + M_{nt}}{L_n} = \frac{6352,54 + 5575,18}{3,4} = 3508,15 \text{ kN}$$

b) Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan *E*, didapat dari *output* ETABS sebesar:

- Untuk arah x diambil yang menentukan dari Tabel 7.2 yaitu  $V_u = 82,153 \text{ kN}$
- Untuk arah y diambil yang menentukan dari Tabel 7.2 yaitu  $V_u = 427,775 \text{ kN}$

Dari poin (a) dan (b) diambil yang menentukan, maka:

$$V_{ux} = 2240,51 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = 3508,15 \text{ kN}$$

**Kuat geser beton:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.2.1.2 kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial:

- Arah x

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 x \left( 1 + \frac{P_u}{14 x A_g} \right) x \lambda x \sqrt{f'_c} x bw x d \\
 &= 0,17x \left( 1 + \frac{26102430,4}{14 x 1040000} \right) x 1 x \sqrt{50} x 1300 x 736 \\
 &= 3212085,14 \text{ N} \rightarrow 3212,09 \text{ kN} \\
 \phi V_c &= 0,75 x 3212,09 = 2409,06 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Arah y

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 x \left( 1 + \frac{P_u}{14 x A_g} \right) x \lambda x \sqrt{f'_c} x bw x d \\
 &= 0,17x \left( 1 + \frac{26102430,4}{14 x 1040000} \right) x 1 x \sqrt{50} x 800 x 1236 \\
 &= 3319512,736 \text{ N} \rightarrow 3319,51 \text{ kN} \\
 \phi V_c &= 0,75 x 3319,51 = 2489,63 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

**Syarat jarak tulangan di dalam dan di luar sendi plastis:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.3.5.2 spasi ( $s_o$ ) tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

$$\begin{aligned}
 s_o &< 8 \quad x \quad dl = 8 \quad X \quad 22 = 176 \text{ mm} \\
 s_o &< 24 \quad x \quad dt = 24 \quad X \quad 13 = 312 \text{ mm} \\
 s_o &< 0,5 \quad x \quad b = 0,5 \quad X \quad 800 = 400 \text{ mm} \\
 s_o &< 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dan panjang ( $l_o$ ) tidak boleh kurang dari yang terbesar dari:

$$\begin{aligned}
 l_o &> 1/6 \quad x \quad ln = 1/6 \quad x \quad 3400 = 566,67 \text{ mm} \\
 l_o &> H = 1300 \text{ mm} \\
 l_o &> 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai:

$$s_o = 170 \text{ mm} \quad l_o = 1300 \text{ mm}$$

Sedangkan syarat tulangan diluar sendi plastis menurut SNI 1847:2013 Ps. 11.4.5.1:

$$\begin{aligned}
 s_o &< 16 \quad x \quad dl = 8 \quad x \quad 22 = 352 \text{ mm} \\
 s_o &< 48 \quad x \quad dt = 24 \quad x \quad 13 = 624 \text{ mm} \\
 s_o &< B = 800 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$s_o < 350 \text{ mm}$$

Maka digunakan  $s_o = 300 \text{ mm}$

**Kebutuhan tulangan geser untuk syarat tahanan gempa:**

Pada desain SRPMM tidak ada persyaratan  $A_{sh}$  seperti yang ditentukan pada SRPMK (SNI 2847:2013 Ps. 21.6.4.4), namun untuk kebutuhan syarat struktur tahanan gempa dan daktilitas kolom. Maka pada desain ini digunakan nilai  $A_{sh}$  namun hanya sepertiganya.

- Arah x

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0,3 \frac{s \times bc \times f'_c}{f_{yt}} \times \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\ &= 0,3 \frac{170 \times 1207 \times 50}{420} \times \left[ \left( \frac{1040000}{878400} \right) - 1 \right] \\ &= 1348,18 \text{ mm}^2 \\ A_{sh} &= 0,09 \frac{s \times bc \times f'_c}{f_{yt}} \\ &= 0,09 \frac{170 \times 1207 \times 50}{420} \\ &= 2198,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Menentukan} = 2198,46 \text{ mm}^2 = 2198,46/3 = 732,82 \text{ mm}^2$$

Digunakan sengkang 6 kaki diameter 13 mm:

$$A_{sv} = 6 \times (0,25 \times \pi \times 13^2) = 796,39 \text{ mm}^2$$

Cek:

$$A_{sv} > A_{sh} \rightarrow 796,39 \text{ mm}^2 > 732,82 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Okay}$$

- Arah y

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0,3 \frac{s \times bc \times f'_c}{f_{yt}} \times \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\ &= 0,3 \frac{170 \times 707 \times 50}{420} \times \left[ \left( \frac{1040000}{878400} \right) - 1 \right] \\ &= 789,695 \text{ mm}^2 \\ A_{sh} &= 0,09 \frac{s \times bc \times f'_c}{f_{yt}} \\ &= 0,09 \frac{170 \times 707 \times 50}{420} \\ &= 1287,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Menentukan} = 1287,75 \text{ mm}^2 = 1287,75/3 = 429,25 \text{ mm}^2$$

Digunakan sengkang 4 kaki diameter 13 mm:

$$A_{sv} = 4 \times (0,25 \times \pi \times 13^2) = 530,93 \text{ mm}^2$$

Cek:

$$A_{sv} > A_{sh} \rightarrow 530,93 \text{ mm}^2 > 429,25 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Okay}$$

**Gaya geser perlawanan sengkang:**

- Arah x

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{s} = \frac{796,39 \times 420 \times 736}{170} = 1448125 \text{ N}$$

Cek:

$$\phi (V_s + V_c) > V_u$$

$$0,75 \times (1448125 + 3212085) > 2240,51$$

$$3495,16 \text{ kN} > 2240,51 \text{ kN} \rightarrow \text{Okay}$$

- Arah y

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{s} = \frac{530,93 \times 420 \times 1236}{170} = 1621270 \text{ N}$$

Cek:

$$\phi (V_s + V_c) > V_u$$

$$0,75 \times (1621270 + 3212085) > 3508,15$$

$$3625,02 \text{ kN} > 3508,15 \text{ kN} \rightarrow \text{Okay}$$

**Cek strong kolom weak beam (SCWB):**

SNI 2847:2013 tidak mengharuskan pemenuhan ketentuan SCWB, namun akan lebih baik dilakukan pengecekan momen akibat goyangan gempa. Setidaknya kolom sama kuat dengan balok untuk menjamin struktur berperilaku *beam-sway*. Dengan melihat  $M_n$  balok pada Gambar 7.4 dan  $M_n$  kolom sesuai Tabel 7.5 maka:

$$\sum M_{nk} \geq \sum M_{nb}$$

$$(4880,7 + 3961,6) \geq (221,7 + 325,1)$$

$$8797,3 \text{ kNm} > 546,8 \text{ kNm} (\text{Okay})$$

**Panjang penyaluran kolom:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan ulir ( $l_d$ ) harus sesuai dengan:

$$l_d = \left( \frac{f_y}{1,1 \lambda \sqrt{f_c}} \times \frac{\psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s}{\left( \frac{cb + K_{tr}}{db} \right)} \right) \times db$$

Dimana sesuai SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4:

$$db = 22 \text{ mm}$$

$$\psi_t = \psi_e = \psi_s = \lambda = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (a))}$$

$$c_b = 64 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = 0 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3 (d))}$$

$$\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} < 2,5 \rightarrow \frac{64 + 0}{22} < 2,5 \rightarrow 2,91 > 2,5 \rightarrow \text{pakai } 2,5$$

Maka:

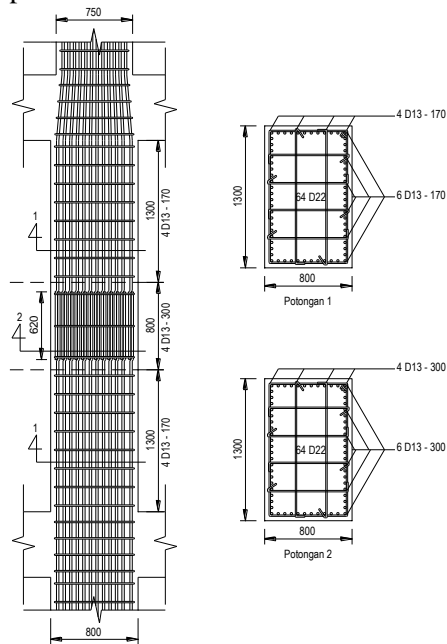
$$l_d = \left( \frac{420}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{50}} \times \frac{1 \cdot 1 \cdot 1}{2,5} \right) \times 22 = 475,18 \text{ mm}$$

Sesuai dngan SNI 2847:2013 Ps. 12.15, sambungan lewatan harus diletakan di tengah panjang kolom dan harus dihitung sebagai sambungan tarik. Karena seluruh tulangan pada panjang lewatan disambung, maka sambungan lewatan termasuk kelas B. Sehingga panjang penyaluran untuk kelas B adalah:

$$1,3 l_d = 1,3 \times 475,18 = 617,73 \text{ mm} \approx 620 \text{ mm}$$

### **Sket hasil perhitungan tulangan:**

Dari hasil perhitungan tulangan, maka didapat sket penulangan kolom seperti pada Gambar 7.11.



**Gambar 7. 11 Sket hasil perhitungan tulangan kolom As. 2-B**



### 7.1.3. Hubungan Balok Kolom (HBK)

Untuk SRPMM tidak ada syarat khusus untuk desain HBK, namun ada baiknya dikontrol kuat geser HBK. Gaya geser horisontal memanjang tulangan balok pakai 1 fy (Purwono). Dengan data – data yang sudah didapat pada bab kesimpulan maka kuat geser HBK dapat dihitung sebagai berikut:

#### Syarat dimensi kolom:

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.7.2.3 dimensi kolom harus memenuhi:

$$\begin{aligned} b &> 20 \times D \text{ tul. balok} \\ 800 \text{ mm} &> 20 \times 19 \text{ mm} \\ 800 \text{ mm} &> 380 \text{ mm} \text{ (Okay)} \end{aligned}$$

#### Kebutuhan tulangan geser:

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.7.3.2 maka:

$$0,5 \times \frac{A_{sh}}{s} = 0,5 \times \frac{441,875}{175} = 1,263 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dipakai 4 D13,  $A_{sh} = 441,875 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{441,875}{1,263} = 350 \text{ mm}^2$$

Syarat:

$$\begin{aligned} s &< 150 \text{ mm} \\ 350 \text{ mm} &> 150 \text{ mm} \text{ (Not Okay)} \end{aligned}$$

→ Maka digunakan **4 D13 – 150**

#### Nilai $M_n$ balok pada HBK:

Menentukan nilai  $M_n$  balok:

$$\text{Tulangan atas balok} \rightarrow A_s = 1984,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan bawah balok} \rightarrow A_s = 1134,1 \text{ mm}^2$$

- Nilai  $M_n^-$ :

$$T_1 = A_s \times 1 \times f_y = 1984,7 \times 1 \times 420 = 833574 \text{ N} = 833,57 \text{ kN}$$

$$a = \frac{T_1}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{833574}{0,85 \times 30 \times 400} = 81,72 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n^- &= T_1 \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 833574 \times \left( 540,5 - \frac{81,72}{2} \right) \\ &= 416485910,8 \text{ Nmm} \rightarrow 416,486 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Nilai  $M_n^+$ :

$$T_2 = A_s \times l \times f_y = 1134,1 \times 1 \times 420 = 476328 \text{ N} = 476,33 \text{ kN}$$

$$a = \frac{T_2}{0,85 \times f_{t_c} \times b} = \frac{476328}{0,85 \times 30 \times 400} = 46,7 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n^+ &= T_1 \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 476328 \times \left( 540,5 - \frac{46,7}{2} \right) \\ &= 246333442,7 \text{ Nmm} \rightarrow 246,333 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### **Momen dan gaya geser yang timbul pada HBK:**

Dari nilai  $M_n$  balok dapat diketahui momen dan gaya geser pada HBK dengan perhitungan berikut:

$$M_u = \frac{M_n^- + M_n^+}{2} = \frac{416,486 + 246,333}{2} = 331,41 \text{ kNm}$$

$$V_e = \frac{M_{u1} + M_{u2}}{l_n} = \frac{331,41 + 331,41}{6,6} = 100,43 \text{ kNm}$$

$$V_u = T_1 + T_2 - V_e = 833,57 + 476,33 - 100,43 = 1209,48 \text{ kN}$$

### **Kontrol kuat geser HBK:**

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.7.4.1 dimana:

$$h = 1300 \text{ mm (tinggi penampang kolom)}$$

Untuk (b) adalah lebar joint efektif, nilai terkecil dari:

$$b = b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}} = 400 + 600 = 1000 \text{ mm .....(i)}$$

$$b = b_{\text{balok}} + 2x = 400 + 2 \left( \frac{800 - 400}{2} \right) = 800 \text{ mm .....(ii)}$$

$$b = 800 \text{ mm (yang menentukan dari (i) dan (ii))}$$

Maka:

$$A_j = b \times h = 800 \times 1300 = 1040000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \times \sqrt{f'_c} \times A_j \\ &= 1,7 \times \sqrt{30} \times 1040000 \\ &= 12501647,89 \text{ N} \rightarrow 12501,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek:

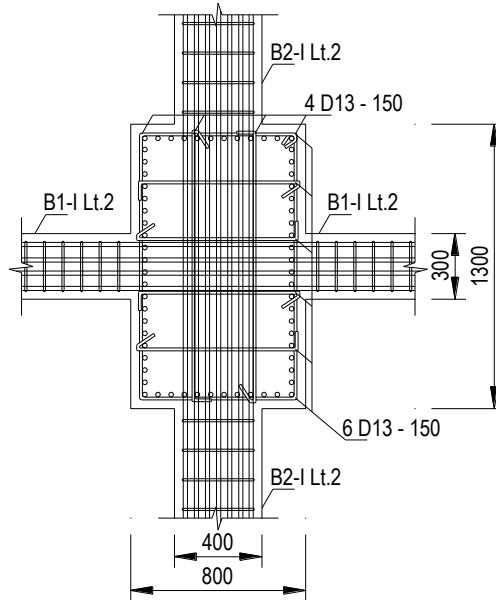
$$\phi \cdot V_n > V_u$$

$$0,75 \times 12501,6 > 1209,48 \text{ kN}$$

$$9376,24 \text{ kN} > 1209,48 \text{ kN (Okay)}$$

**Sket hasil perhitungan tulangan:**

Dari perhitungan di atas maka didapat sket penulangan pada HBK seperti pada Gambar 7.12.



**Gambar 7. 12 Sket hasil perhitungan tulangan pada HBK**

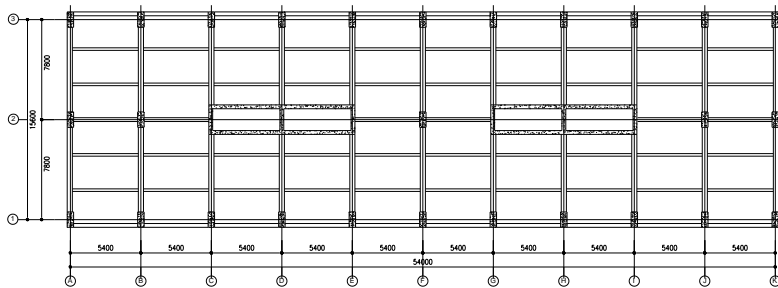
**7.1.4. Corewall**

Pada sistem *outrigger* dan *belt-truss*, *corewall* berperan sebagai kolom inti. Dimana pada bangunan ini *corewall* akan didesain menggunakan elemen *shearwall*. Lokasi *shearwall* yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 7.13. Untuk perencanaannya menggunakan tata cara perenca dinding struktur khusus sesuai dengan SNI 2847:2013.

**Data perencanaan:**

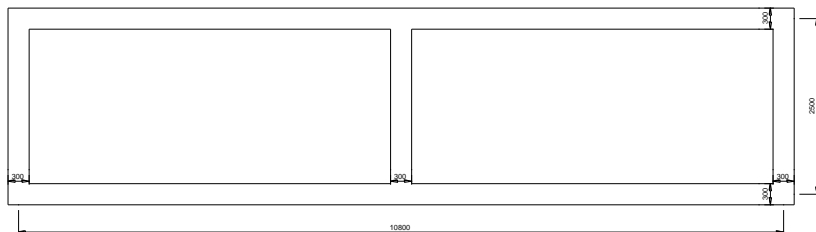
Tebal <i>shearwall</i>	(h)	= 300 mm	
Tinggi <i>shearwall</i>	(h <sub>w</sub> )	= 4000 mm	
Panjang <i>shearwall</i>	(l <sub>y</sub> )	= 2500 mm	Σ = 3
	(l <sub>x</sub> )	= 10800 mm	Σ = 2

Tebal selimut	(s)	= 40 mm
Tul. longitudinal	(D)	= 22 mm
	( $f_y$ )	= 420 Mpa
Tul. transversal	(D)	= 19 mm
	( $f_y$ )	= 420 Mpa
Mutu beton	( $f'_c$ )	= 50 Mpa



**Gambar 7. 13 Lokasi *shearwall* yang ditinjau**

Detail penampang *shearwall* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.14.



**Gambar 7. 14 Detail penampang *shearwall***

### **Analisa gaya dalam:**

Untuk gaya dalam *shearwall* diketahui dari *output* ETABS. Agar mendapat gaya dalam secara satu kesatuan *shearwall*, maka pada program bantu ETABS beberapa elemen *shearwall* yang telah dimodelkan disatukan menggunakan *pier*. Sehingga didapat gaya dalam dari beberapa kombinasi pembebanan seperti yang disajikan pada Tabel 7.6.

**Tabel 7. 6 Output gaya dalam shearwall**

Combo	P (kN)	V sb-Y (kN)	Vsb-X (kN)	M sb-X (kNm)	M sb-Y (kNm)
1,4D	163372	0,319	0	0	15,012
1,2D+1,6L	162637	0,317	0	0	14,955
1,2D+1,6L+0,5W	162641	47,898	143,172	6360,01	3060,451
1,2D+1L+1W	154266	95,462	286,344	12720	6135,305
1,2D+1L+RSPX	153764	6757,919	720,4316	28565,04	304950,6
1,2D+1L+RSPY	154004	3593,41	4264,964	169105,4	162140,9
0,9D+1W	105246	95,366	286,344	12720,02	6139,444
0,9D+RSPX	104745	6757,823	720,4316	28565,04	304954,7
0,9D+RSPY	104984	3593,335	4264,964	169105,4	162145

Semua kombinasi beban pada Tabel 7.6 di-input kedalam program bantu SpColumn untuk perencanaan tulangan longitudinal. Sedangkan untuk perencanaan tulangan geser (transversal) dilakukan secara manual, dengan menggunakan gaya geser dari kombinasi yang menentukan. Sehingga didapat gaya dalam sebagai berikut:

$$\begin{array}{lll}
 P_u = 153764 \text{ kN} & V_x = 720,43 \text{ kN} & M_x = 28565 \text{ kNm} \\
 & V_y = 6757,9 \text{ kN} & M_y = 304951 \text{ kNm}
 \end{array}$$

**Cek dimensi penampang terhadap gaya geser terfaktor:**

Sesuai dengan ketentuan pada SNI 2847:2013 Ps. 21.9.4.4 maka didapat:

- Untuk dinding arah X

$$V_{nx} = \frac{V_{ux}}{\phi} = \frac{720,43}{0,75} = 960,58 \text{ kN}$$

$$A_{cvx} = l_x \times h = 10800 \times (300 \times 2) = 6480000 \text{ mm}^2$$

$$0,66 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} = 0,66 \times 6480000 \times \sqrt{50} = 30242 \text{ kN}$$

Cek:

$$V_{nx} < 0,66 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} \rightarrow 960,58 \text{ kN} < 30242 \text{ kN (Okay)}$$

- Untuk dinding arah Y

$$V_{ny} = \frac{V_{uy}}{\phi} = \frac{6757,9}{0,75} = 9010,6 \text{ kN}$$

$$A_{cvy} = l_y \times h = 2500 \times (300 \times 3) = 6750000 \text{ mm}^2$$

$$0,66 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} = 0,66 \times 6750000 \times \sqrt{50} = 31502 \text{ kN}$$

Cek:

$$V_{nx} < 0,66 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'_c} \rightarrow 9010,6 \text{ kN} < 31502 \text{ kN (Okay)}$$

**Jumlah lapis tulangan yang dibutuhkan:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.9.2.2 jika  $V_u > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}$  maka harus dipasang dua lapis tulangan atau lebih.

Cek:

- Dinding arah X

$$A_{cv} = l_x \times h = 10800 \times (2 \times 300) = 6480000 \text{ mm}^2$$

$$V_{ux} > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}$$

$$720,43 \text{ kN} > 0,17 \cdot 6480000 \cdot 1 \cdot \sqrt{50}$$

$$720,43 \text{ kN} > 7789,48 \text{ kN (gunakan 1 lapis tulangan)}$$

- Dinding arah Y

$$A_{cv} = l_y \times h = 2500 \times (3 \times 300) = 2250000 \text{ mm}^2$$

$$V_{uy} > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}$$

$$6757,9 \text{ kN} > 0,17 \cdot 2250000 \cdot 1 \cdot \sqrt{50}$$

$$6757,9 \text{ kN} > 2704,68 \text{ kN (gunakan 2 lapis tulangan)}$$

Maka untuk memudahkan pelaksanaan, untuk kedua arah dipasang 2 lapis tulangan (yang menentukan).

**Perhitungan kuat geser yang disumbangkan beton:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.9.6 kuat geser beton ( $V_c$ ) untuk dinding diambil yang terkecil dari:

- Dinding arah X

$$d = 0,8 \times l_x = 0,8 \times 10800 = 8640 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,27 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times h \times d + \frac{P_u \times d}{4 \times l_x}$$

$$= 0,27 \times 1 \times \sqrt{50} \times (2 \times 300) \times 8640 + \frac{153764000 \times 8640}{4 \times 10800}$$

$$= 40650032,2 \text{ N} \rightarrow 40650,03 \text{ kN} \dots (i)$$

$$V_c = \left( 0,05 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + \frac{l_x \cdot \left( 0,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + 0,2 \cdot \frac{P_u}{l_x \cdot h} \right)}{\frac{M_{ux}}{V_{ux}} - \frac{l_x}{2}} \right) \cdot h \cdot d$$

$$= \left( 0,05 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} + \frac{10800 \cdot \left( 0,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} + 0,2 \cdot \frac{153764000}{10800 \cdot (2 \cdot 300)} \right)}{\frac{28565000000}{720430} - \frac{10800}{2}} \right) \cdot 600 \cdot 8640$$

$$= 18504324,4 \text{ N} \rightarrow 18504,32 \text{ kN} \dots (ii)$$

Maka dipakai  $V_c = 18504,32 \text{ kN}$  (menentukan dari (i),(ii))

- Dinding arah Y

$$d = 0,8 \times l_y = 0,8 \times 2500 = 2000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,27 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times h \times d + \frac{P_u \times d}{4 \times l_x} \\ &= 0,27 \times 1 \times \sqrt{50} \times (3 \times 300) \times 2000 + \frac{153764000 \times 2000}{4 \times 2500} \\ &= 34189339 \text{ N} \rightarrow 34189,34 \text{ kN} \dots (i) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left( 0,05 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + \frac{l_y \cdot \left( 0,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + 0,2 \cdot \frac{P_u}{l_y \cdot h} \right)}{\frac{M_{uy}}{V_{uy}} \cdot \frac{y}{2}} \right) \cdot h \cdot d \\ &= \left( 0,05 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} + \frac{2500 \cdot \left( 0,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} + 0,2 \cdot \frac{153764000}{2500 \cdot (3 \cdot 300)} \right)}{\frac{30495100000}{6757900} \cdot \frac{2500}{2}} \right) \cdot 600 \cdot 8640 \\ &= 4914438,13 \rightarrow 4914,44 \text{ kN} \dots (ii) \end{aligned}$$

Maka dipakai  $V_c = 4914,44 \text{ kN}$  (menentukan dari (i),(ii))

### **Perhitungan tulangan tranversal penahan geser:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.9.9.3 spasi tulangan geser horisontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- $\frac{l_w}{5} = \frac{2500}{5} = 500 \text{ mm}$
- $3 \cdot h = 3 \times 300 = 900 \text{ mm}$
- $450 \text{ mm}$

Hitung kebutuhan tulangan tranversal untuk menahan geser:

- Dinding arah X

$$V_s = \frac{V_{ux}}{\phi} - V_c = \frac{720,43}{0,75} - 18504,32 = -17543,75 \text{ kN}$$

Karena hasil negatif, secara umum beton sudah mampu memikul gaya geser yang terjadi. Namun ada baiknya tetap dipasang tulangan tranversal agar lebih aman. Direncanakan tulangan 2D 19 dengan jarak (s) 220 mm.

$$A_{vt} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{567,06 \times 420 \times 8640}{220} = 9353,4 \text{ kN}$$

Cek:

$$V_s \text{ perlu} < V_s \text{ pasang} \rightarrow -17544 \text{ kN} < 9353,4 \text{ kN (Okay)}$$

- Dinding arah Y

$$V_s = \frac{V_{ux}}{\phi} - V_c = \frac{6757,92}{0,75} - 4914,44 = 4096,12 \text{ kN}$$

Direncanakan tulangan 2D 19 dengan jarak (s) 110 mm.

$$A_{vt} = 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 567,06 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{567,06 \times 420 \times 2000}{110} = 4330,3 \text{ kN}$$

Cek:

$$V_s \text{ perlu} < V_s \text{ pasang} \rightarrow 4096,12 < 4330,3 \text{ kN (Okay)}$$

Cek batas minimum tulangan transversal sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.9.2.1:

- Dinding arah X

$$\rho_t = \frac{A_v}{t \times s} = \frac{567,06}{300 \times 220} = 0,0086 > 0,0025 \text{ (Okay)}$$

- Dinding arah Y

$$\rho_t = \frac{A_v}{t \times s} = \frac{567,06}{300 \times 110} = 0,0172 > 0,0025 \text{ (Okay)}$$

### **Menentukan kuat geser nominal penampang:**

Sesuai dengan syarat pada SNI 2847:2013 Ps. 21.9.4.1 bahwa nilai  $V_n \leq A_{cv} \cdot (\alpha_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + \rho_t \cdot f_y)$  maka:

- Dinding arah X

$$V_n = V_c + V_s = 18504,32 + 9353,36 = 27857,68 \text{ kN .....(i)}$$

$$\frac{h_w}{l_x} = \frac{4000}{10800} = 0,37 \rightarrow \alpha_c = 0,25$$

$$V_n = 6480000 \cdot (0,25 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} + 0,0086 \cdot 420) \\ = 34838518,1 \text{ N} \rightarrow 34839 \text{ kN .....(ii)}$$

$$V_{nx} = 27857,68 \text{ kN (menentukan dari (i),(ii))}$$

- Dinding arah Y

$$V_n = V_c + V_s = 4914,44 + 4330,26 = 9244,69 \text{ kN .....(i)}$$

$$\frac{h_w}{l_x} = \frac{4000}{2500} = 1,6 \rightarrow \alpha_c = 0,186$$

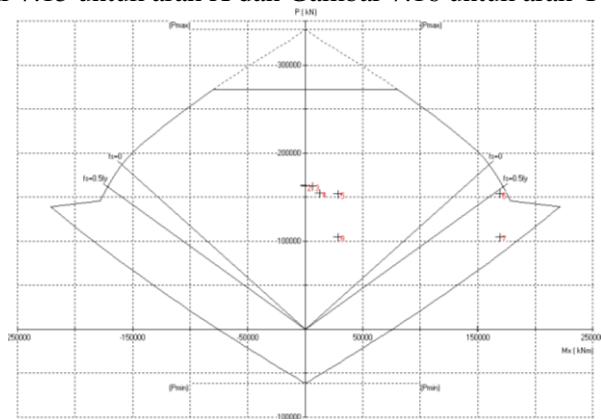
$$V_n = 2250000 \cdot (0,186 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} + 0,0172 \cdot 420) \\ = 19197705,9 \text{ N} \rightarrow 19198 \text{ kN .....(ii)}$$

$$V_{ny} = 9244,69 \text{ kN (menentukan dari (i),(ii))}$$

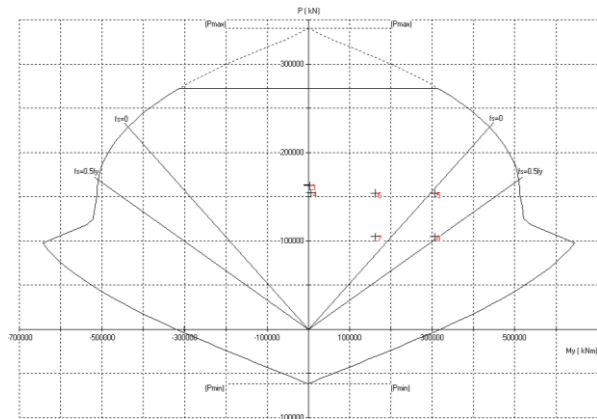


**Perhitungan tulangan penahan aksial dan lentur:**

Direncanakan untuk dinding arah Y menggunakan tulangan 2 lapis D22-100 dan arah X menggunakan tulangan 2 lapis D22-150. Dengan program bantu SpColumn, penampang seperti pada gambar 7.14 dimodelkan dan diberi tulangan seperti yang direncanakan. Semua kombinasi beban pada tabel 7.6 di-input pada SpColumn. Sehingga didapat diagram interaksi seperti pada Gambar 7.15 untuk arah X dan Gambar 7.16 untuk arah Y.



**Gambar 7. 15 Diagram interaksi *shearwall* (arah x)**



**Gambar 7. 16 Diagram interaksi *shearwall* (arah y)**

Dari SpColumn didapat nilai rasio tulangan ( $\rho$ ) *shearwall* sebesar 1,49%. Menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.9.2.1 rasio tulangan harus memenuhi:

$$0,0149 > 0,0025 \text{ (Okay)}$$

**Cek kebutuhan elemen pembatas khusus:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.9.6.2 elemen pembatas khusus desain berbasis perpindahan diperlukan bila  $c \geq \frac{l_w}{600 \cdot (\delta_u/h_w)}$

- Dinding arah X

$$\delta_x = 4,5 \text{ mm (lihat Tabel 6.14 untuk perpindahan Lt.1)}$$

$$c = 4679 \text{ mm (Output SpColumn)}$$

Cek:

$$\frac{\delta_x}{h_w} \geq 0,007 \rightarrow \frac{4,5}{4000} \geq 0,007 \rightarrow 0,0011 < 0,007 \rightarrow \mathbf{0,007}$$

$$\frac{l_x}{600 \cdot (\delta_x/h_w)} = \frac{10800}{600 \times 0,007} = 2571,4 \text{ mm}$$

Maka:

$$c \geq \frac{l_x}{600 \cdot (\delta_x/h_w)} \rightarrow 4679 \text{ mm} > 2571,4 \text{ mm}$$

Diperlukan elemen pembatas khusus, dengan panjang tidak boleh lebih kecil dari:

$$c - 0,1.l_x = 4679 - (0,1 \times 10800) = 3599 \text{ mm .....(i)}$$

$$c/2 = 4679/2 = 2339,5 \text{ mm .....(ii)}$$

Maka digunakan 3599 mm  $\approx$  3600 mm (menentukan dari (i),(ii)). Didistribusikan pada kedua dinding sehingga 1800 mm tiap sisi.

- Dinding arah Y

$$\delta_y = 7,65 \text{ mm (lihat Tabel 6.14 untuk perpindahan Lt.1)}$$

$$c = 442 \text{ mm (Output SpColumn)}$$

Cek:

$$\frac{\delta_y}{h_w} \geq 0,007 \rightarrow \frac{7,65}{4000} \geq 0,007 \rightarrow 0,0019 < 0,007 \rightarrow \mathbf{0,007}$$

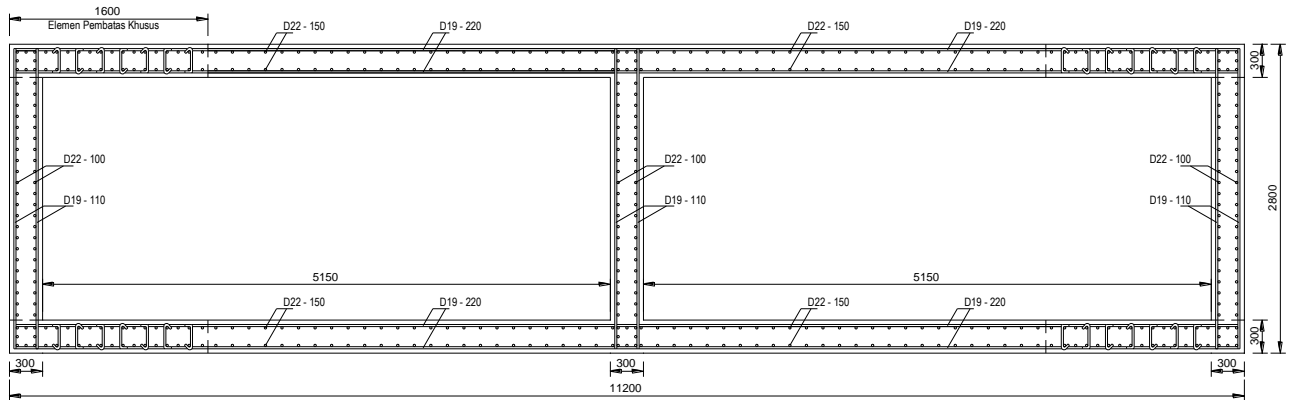
$$\frac{l_y}{600 \cdot (\delta_y/h_w)} = \frac{2500}{600 \times 0,007} = 595,24 \text{ mm}$$

Maka:

$$c \geq \frac{l_x}{600 \cdot (\delta_u / h_w)} \rightarrow 4679 \text{ mm} > 2571,4 \text{ mm. Tidak diperlukan elemen pembatas khusus.}$$

**Sket hasil perhitungan tulangan:**

Dari hasil perhitungan tulangan, maka didapat sket penulangan *shearwall* seperti pada Gambar 7.17.



**Gambar 7. 17 Sket hasil perhitungan tulangan *shearwall***

### 7.1.5. Couple Beam

Dinding struktur yang memiliki bukaan maka harus dihubungkan menggunakan *couple beam* (balok kopel). Dimana ketika terjadi gempa sendi plastis direncanakan terlebih dahulu pada balok kopel sebelum dasar dinding mengalami sendi plastis. Adapapun data perencanaan balok kopel adalah sebagai berikut:

#### Data perencanaan:

Tipe balok		: BK
Bentang bersih balok	( $L_n$ )	: 2900 mm
Dimensi balok	(b)	: 300 mm
	(h)	: 1900 mm
Dia. tul. <i>couple beam</i>	(lentur)	: 19 mm $\rightarrow A_s = 283,529 \text{ mm}^2$
	(geser)	: 10 mm $\rightarrow A_s = 78,539 \text{ mm}^2$
Dia. tul. <i>shearwall</i>	(lentur)	: 22 mm $\rightarrow A_s = 380,133 \text{ mm}^2$
	(geser)	: 19 mm $\rightarrow A_s = 283,529 \text{ mm}^2$
Mutu tulangan	(lentur) $f_y$	: 420 Mpa
	(geser) $f_y$	: 420 Mpa
Mutu beton	$f'_c$	: 50 Mpa
Selimut beton	(s)	: 40 mm
		(SNI 2847:2013 Ps. (7.7.1))
Tinggi efektif	(d)	: 1831,5 mm
Sudut kemriangan	( $\alpha$ )	: $33^\circ \rightarrow \sin = 0,84 ; \cos = 0,54$

#### Gaya dalam:

Gaya dalam didapat dari *output* program bantu ETABS dengan metode *section cut*, sehingga didapat:

$$M_u = 2691,12 \text{ kNm} \quad V_u = 2825,9 \text{ kN}$$

#### Persyaratan geometris:

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.9.7.1 dan Ps. 21.9.7.2 persyaratan geometris balok kopel sebagai berikut:

- $\frac{l_n}{h} \geq 4 \rightarrow \frac{2900}{1900} \geq 4 \rightarrow 1.53 < 4$  (**Not Okay**)
  - $\frac{l_n}{h} \leq 2 \rightarrow \frac{2900}{1900} \leq 2 \rightarrow 1.53 < 2$  (**Okay**)
- $$V_u \geq 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_{cw}$$

$$2825901 \geq 0,33.1. \sqrt{50}. (300 \times 1900)$$

$$2825901 N > 1330067,86 N \text{ (Okay)}$$

Dari kedua syarat geometris tersebut maka diketahui balok kopel harus didesain dengan dua kelompok tulangan yang berpotongan ditempatkan secaradiagonal simetris terhadap tengah bentang.

### Perhitungan tulangan longitudinal:

Direncanakan tulangan 9 D19 maka didapat luas total 1 kelompok tulangan diagonal sebesar:

$$A_{vd} = 9 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 2551,8 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{vd} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c.b}} = \frac{2551,8 \cdot 420}{0,85 \cdot 50 \cdot 300} = 84,06 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 2 \times (\varphi \times A_{vd} \times f_y \times \cos \alpha) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 2 \times (0,9 \times 2551,8 \times 420 \times 0,84) \times \left(1831,5 - \frac{84,06}{2}\right) \\ &= 2895192622,68 \text{ Nmm} > 2691116500 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Okay} \end{aligned}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 3 lapis, tiap baris 3 lapis, maka:

Jarak antar tulangan tiap baris:

$$S = \frac{b_w - 2s - N.D - 2.D}{N-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{150 - 3 \cdot 19 - 2 \cdot 10}{3-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 36,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}$$

Jarak antar tulangan tiap lapis:

$$S = \frac{b_w - s - N.D - 2.D}{N-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{300 - 3 \cdot 19 - 2 \cdot 10}{3-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 115,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}$$

### Perhitungan tulangan geser:

Berdasar SNI 2847:2013 Ps. 21.9.7.4 perhitungan tulangan geser harus memenuhi syarat – syarat berikut ini:

- $V_n = 2 \times A_{vd} \times f_y \times \sin \alpha \leq 0,83 \times \sqrt{f_c} \times A_{cw}$   
 $V_n = 2 \times 2551,8 \times 420 \times 0,54 \leq 0,83 \times \sqrt{50} \times 570000$   
 $1167421,38 \text{ N} < 3345322,18 \text{ N (Okay)}$

- Sekelompok batang tulangan diagonal minimal terdiri dari 4 batang tulangan dalam 2 lapis atau lebih. Tulangan diagonal ditanam dalam dinding minimal 1,25 panjang penyaluran  $f_y$  dalam kondisi tarik.

Panjang penyaluran sesuai SNI 2847:2013 Ps. 12.2, yaitu:

$$db = 19 \text{ mm}$$

$$\psi_t = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (a))}$$

$$\psi_e = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (b))}$$

$$\psi_s = 0,8 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (c))}$$

$$\lambda = 1 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.4 (d))}$$

$$cb = 68,5 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = 0 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3 (d))}$$

Panjang penyaluran dihitung sesuai dengan rumus pada SNI 2847:2013 Ps. 12.2.3:

$$\frac{cb+K_{tr}}{db} < 2,5 \rightarrow \frac{68,5+0}{19} < 2,5 \rightarrow 3,605 > 2,5 \rightarrow \text{pakai } 2,5$$

$$\begin{aligned} l_d &= \left( \frac{f_y}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c}} \times \frac{\psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s}{\left( \frac{cb+K_{tr}}{db} \right)} \right) \times db \\ &= \left( \frac{420}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{50}} \times \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,8}{(2,5)} \right) \times 19 \\ &= 328,3 \text{ mm ..... (iii)} \end{aligned}$$

$$l_{d \text{ min}} = 300 \text{ mm .....(iv) (SNI 2847:2013 Ps. 12.2.1)}$$

Maka digunakan panjang penyaluran sebesar  $1,25 \times 328,3 = 412,5 \text{ mm} \approx 450 \text{ mm}$

- Tulangan geser harus disediakan sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 21.6.4.4 maka:

Direncanakan tulangan geser menggunakan 3 D10 – 100 mm, didapat  $A_{sv} = 3 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 235,62 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 0,3 \frac{s \times bc \times f'_c}{f_{yt}} \times \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\ &= 0,3 \frac{100 \times 150 \times 50}{420} \times \left[ \left( \frac{4500}{36400} \right) - 1 \right] \\ &= 126,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh} &= 0,09 \frac{s \times bc \times f'_c}{f_{yt}} \\
 &= 0,09 \frac{100 \times 150 \times 50}{420} \\
 &= 160,71 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

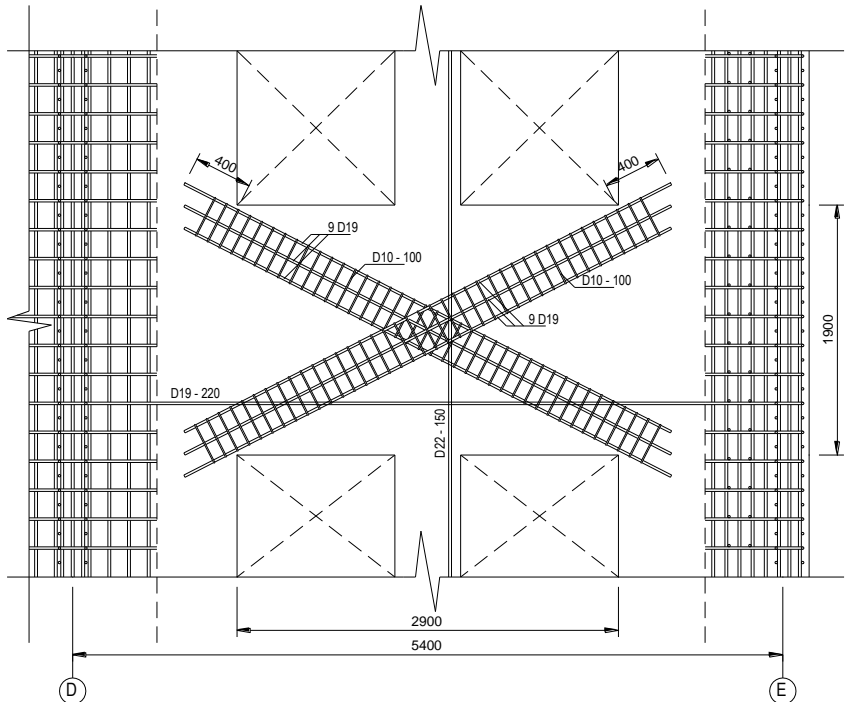
Maka yang menentukan  $A_{sh} = 160,71 \text{ mm}^2$

Cek:

$$A_{sv} > A_{sh} \rightarrow 235,62 \text{ mm}^2 > 160,71 \text{ mm}^2 \text{ (Okay)}$$

**Sket hasil perhitungan tulangan:**

Dari hasil perhitungan, didapat sket penulangan balok kopel seperti pada Gambar 7.18.



**Gambar 7. 18 Sket penulangan balok kopel As. D-E**

## 7.2. Perencanaan Struktur *Outrigger*

Sistem *outrigger* dan *belt-truss* berperan penting dalam meningkatkan kekakuan bangunan, terutama pada bangunan bertingkat tinggi. Pada bab ini akan dibahas elemen struktur *outrigger* meliputi balok *outrigger*, *belt-truss*, dan hubungan balok-kolom *outrigger*. Juga akan dievaluasi nilai daktilitas kolom *outrigger* yang diharapkan mewakili daktilitas seluruh bangunan.

### 7.2.1. Balok *Outrigger* dan *Belt-truss*

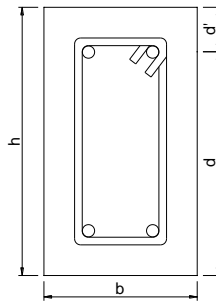
Pada Apartemen Struktur Gunawangsa Tidar ini elemen balok *outrigger* dan *belt-truss* didesain menggunakan balok tinggi. Karena desainnya yang sama, maka sebagai contoh perhitungan akan didesain balok tinggipada As 1-C;2-C. Dan hasil perhitungan lainnya akan disajikan pada lampiran dalam bentuk tabel.

#### Data perencanaan:

Tipe balok		: BT
Bentang balok	(L)	: 7800 mm
Bentang bersih balok	(L <sub>n</sub> )	: 5900 mm
Dimensi balok	(b)	: 400 mm
	(h)	: 2000 mm
Diameter tulangan	(lentur)	: 19 mm → A <sub>s</sub> = 283,529 mm <sup>2</sup>
	(geser)	: 13 mm → A <sub>s</sub> = 132,73 mm <sup>2</sup>
Mutu tulangan	(lentur) f <sub>y</sub>	: 420 Mpa
	(geser) f <sub>y</sub>	: 420 Mpa
Selimut beton	(s)	: 40 mm
		(SNI 2847:2013 Ps. (7.7.1))
Mutu beton	(f' <sub>c</sub> )	: 35 Mpa
	(β <sub>1</sub> )	: $0,85 - 0,05 \frac{f'_{c} - 28}{7}$
		(SNI 2847:2013 Ps.10.2.7.3)
		: $0,85 - 0,05 \frac{35 - 28}{7}$
		: 0,8



Tinggi efektif balok tinggi ditunjukkan Gambar 7.19.



**Gambar 7. 19 Tinggi efektif balok tinggi**

$$\begin{aligned}
 d &= h \text{ balok} - s \text{ balok} - D \text{ geser} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\
 &= 2000 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 19/2 \text{ mm} \\
 &= 1937,5 \text{ mm} \\
 d' &= s \text{ balok} - D \text{ geser} - \frac{1}{2} D \text{ lentur} \\
 &= 40 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + 19/2 \text{ mm} \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### **Analisa gaya dalam:**

Pada ETABS balok tinggi dimodelkan menggunakan *shell*, maka untuk mengetahui gaya dalam dari balok tinggi digunakan *section cut*. Sehingga didapatkan gaya dalam sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{negatif}} &= 7476,024 \text{ kNm} & V_{\text{vertikal}} &= 1309,870 \text{ kN} \\
 M_{\text{positif}} &= 8533,467 \text{ kNm} & V_{\text{horisontal}} &= 1972,965 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

### **Perhitungan tulangan longitudinal:**

#### • *Top*

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j d)}$$

Pada balok, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,9d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 7476,024 \text{ kNm} \rightarrow 7476024000 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{7476024000}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 1937,5)}$$

$$A_s \geq 11342 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{11342 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 400,31 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{400,31}{0,8} = 500,39 \text{ mm}$$

$$0,375d = 0,375 \cdot 1937,5 = 726,56 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375d \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$500,39 \text{ mm} < 726,56 \text{ mm (asumsi awal benar)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s \geq \frac{7476024000}{0,9 \cdot 420 \left(1937,5 - \frac{400,31}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 11384 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{11384}{400 \cdot 1937,5} = 0,0147$$

Cek syarat kebutuhan tulangan:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$AS_{min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d$	$AS_{min} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$
$= \frac{1,37}{420} \times 400 \times 1937,5$	$= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 1937,5$
$= 2729,1 \text{ mm}^2$	$= 2583,3 \text{ mm}^2$
$\rho_{min} = \frac{AS_{min}}{b \times d}$	$\rho_{min} = \frac{AS_{min}}{b \times d}$
$= \frac{2729,1}{400 \times 1937,5}$	$= \frac{2583,3}{400 \times 1937,5}$
$= 0,0035$	$= 0,0033$

Yang menentukan adalah  $\rho_{min} = 0,0035$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0,025$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0035 < 0,0147 < 0,025$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $A_{s\text{perlu}} = 11384 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$N_{tul} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tul.}}} = \frac{11383,95}{283,529} = 40,15 \approx 41 \text{ buah}$$

Cek tulangan terpasang:

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$41 \times 283,529 > 11384$$

$$11625 \text{ mm}^2 > 11384 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Okay}$$

Cek Momen nominal:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c.b}} = \frac{11625 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 410,28 \text{ mm}$$

$$M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0,9 \times 11625 \times 420 \times \left(1937,5 - \frac{410,28}{2}\right)$$

$$= 7612206151 \text{ Nmm} > 7476024000 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Okay}$$

Dari hasil perhitungan didapat tulangan 41 D19 yang didistribusikan merata setinggi 1/5 h pada daerah tarik balok:

$$0,2 \times h = 0,2 \times 2000 = 400 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 7 lapis, lapis 1-6 sebanyak 6 buah tulangan dan lapis ke-7 sebanyak 5 buah tulangan, maka:

Jarak antar tulangan tiap baris:

$$S = \frac{b_w - 2s - N.D - 2.D}{N-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{400 - 2 \cdot 40 - 6 \cdot 19 - 2 \cdot 13}{6-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 36 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} (\text{Okay})$$

Jarak antar tulangan tiap lapis:

$$S = \frac{b_w - s - N.D - 2.D}{N-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{400 - 40 - 6 \cdot 19 - 2 \cdot 13}{7-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 33,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}$$

→ Maka dipakai tulangan **41 D19**

• **Bottom**

Kebutuhan tulangan awal:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} \cong \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (j d)}$$

Pada balok, lengan momen lentur tulangan dapat diasumsikan 0,9d (Wight & MacGregor 2012) dan penampang dianggap dalam keadaan *tension controlled*  $\phi = 0,9$  (SNI 2847:2013 Ps.9.3.2.1).

$$M_u = 8533,467 \text{ kNm} \rightarrow 8533467300 \text{ Nmm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{8533467300}{0,9 \cdot 420 \cdot (0,9 \cdot 1937,5)}$$

$$A_s \geq 12946 \text{ mm}^2$$

Kontrol kondisi penampang:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{11342 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 456,93 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{456,93}{0,8} = 571,17 \text{ mm}$$

$$0,375dt = 0,375 \cdot 1937,5 = 726,56 \text{ mm}$$

$$c \leq 0,375dt \text{ (SNI 2847:2013 Gb.S9.3.2)}$$

$$571,17 \text{ mm} < 726,56 \text{ mm (asumsi awal benar)}$$

Menentukan kebutuhan tulangan terpasang:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} 7300$$

$$A_s \geq \frac{853346}{0,9 \cdot 420 \left(1937,5 - \frac{456,93}{2}\right)}$$

$$A_s \geq 13209 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{b \cdot d} = \frac{13209}{400 \cdot 1937,5} = 0,017$$

Cek syarat kebutuhan tulangan:

Tulangan minimum (SNI 2847:2013 Ps. (10.5.1))

$$A_{Smin} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} x b_w x d \quad A_{Smin} = \frac{1,4}{f_y} x b_w x d$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,37}{420} \times 400 \times 1937,5 & \rho_{\min} &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 1937,5 \\
 &= 2729,1 \text{ mm}^2 & &= 2583,3 \text{ mm}^2 \\
 \rho_{\min} &= \frac{A_{s_{\min}}}{b \times d} & \rho_{\min} &= \frac{A_{s_{\min}}}{b \times d} \\
 &= \frac{2729,1}{400 \times 1937,5} & &= \frac{2583,3}{400 \times 1937,5} \\
 &= 0,0035 & &= 0,0033
 \end{aligned}$$

Yang menentukan adalah  $\rho_{\min} = 0,0035$

Tulangan maksimal (SNI 2847:2013 Ps.B.10.3.3)

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \times \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \rightarrow 0,0035 < 0,017 < 0,025$$

Karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$  maka gunakan  $A_{s_{\text{perlu}}} = 13209 \text{ mm}^2$

Menentukan jumlah tulangan utama terpasang:

$$N_{\text{tul}} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tul}}}} = \frac{13209}{283,529} = 46,59 \approx 47 \text{ buah}$$

Cek tulangan terpasang:

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$$47 \times 283,529 > 13209$$

$$13326 \text{ mm}^2 > 13209 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Okay}$$

Cek Momen nominal:

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{13326 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 400} = 470,32 \text{ mm} \\
 M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 0,9 \times 13326 \times 420 \times \left(1937,5 - \frac{470,32}{2}\right) \\
 &= 8574968174 \text{ Nmm} > 8533467300 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Okay}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapat tulangan 47 D19 yang didistribusikan merata setinggi  $1/5 h$  pada daerah tarik balok:

$$0,2 \times h = 0,2 \times 2000 = 400 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan: (SNI 2847:2013Ps. (7.6.1))

Tulangan dipasang 7 lapis, lapis 1-6 sebanyak 7 buah tulangan dan lapis ke-7 sebanyak 5 buah tulangan, maka:

Jarak antar tulangan tiap baris:

$$S = \frac{b_w - 2s - N.D - 2.D}{N-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{400 - 2.40 - 7.19 - 2.13}{7-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 26,83 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}$$

Jarak antar tulangan tiap lapis:

$$S = \frac{b_w - s - N.D - 2.D}{N-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = \frac{400 - 40 - 7.19 - 2.13}{7-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$S = 33,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Okay)}$$

➔ Maka dipakai tulangan **47 D19**

### Desain tulangan geser:

Hitung  $V_u$  pada jarak  $X = 0,15.l_n$  dari muka tumpuan:

$$X = 0,15 \times 6300 = 945 \text{ mm dari muka tumpuan}$$

Didapat *output* ETABS kombinasi 1,2D+1L sejauh 945 mm dari muka tumpuan:

$$V_u = 1972,965 \text{ kN (menentukan dari } V_{\text{horizontal}} \text{ dan } V_{\text{vertikal}})$$

$$M_u = 4897,635 \text{ kNm}$$

Cek penampang terhadap geser: (SNI 2847:2013 Ps. 11.7.3)

$$\begin{aligned} V_c &= \phi \times 0,83 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= 0,75 \times 0,83 \times \sqrt{35} \times 400 \times 1937,5 \\ &= 2854,139 \text{ kN} > 1972,965 \text{ kN (Okay)} \end{aligned}$$

Kuat geser beton: (SNI 2847:2013 Ps. 11.2.2.1)

$$V_c = \left( 0,16 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + 17\rho_w \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \cdot b_w \cdot d$$

Dimana:

$$\left( \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \leq 1 \rightarrow \left( \frac{1972964,8 \times 1937,5}{4897634700} \right) \leq 1 \rightarrow 0,78 < 1 \text{ (pakai 0,78)}$$

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{11624,678}{400 \times 1937,5} = 0,015$$

Maka:

$$\begin{aligned} V_c &= (0,16 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} + 17 \cdot 0,015 \cdot 0,78) \cdot 400 \cdot 1937,5 \\ &= 887836,558 \text{ N .....(i)} \end{aligned}$$

Dan tidak boleh lebih dari:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,29 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,29 \cdot 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 1937,5 \\ &= 1329638,93 \text{ N .....(i)} \end{aligned}$$

Maka dipakai yang menentukan dari (i) dan (ii) = 887836,558 N

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \times 887836,558 = 665877,419 \text{ N} \rightarrow 665,877 \text{ kN}$$

#### **Kebutuhan tulangan geser:**

$$V_s = \frac{1972,965 - 665,877}{0,75} = 1742,8 \text{ kN}$$

Direncanakan tulangan geser D13 dipasang di kedua sisi balok dengan posisi vertikal dan horisontal.

$$A_v = 2 \times (0,25 \times \pi \times 13^2) = 265,46 \text{ mm}^2$$

Asumsi jarak tulangan horisontal sama dengan jarak tulangan vertikal:

$$s_h = s_v = s \text{ dan } \frac{l_n}{d} = \frac{6300}{1937,5} = 3,252 \text{ mm}$$

Maka:

$$\begin{aligned} V_s &= \left\{ \frac{A_v}{s_v} \cdot \left( \frac{1 + l_n/d}{12} \right) + \frac{A_v}{s_h} \cdot \left( \frac{11 - l_n/d}{12} \right) \right\} \cdot f_y \cdot d \\ 1742,8 &= \left\{ \frac{265,46}{s} \cdot \left( \frac{1 + 3,252}{12} \right) + \frac{265,46}{s} \cdot \left( \frac{11 - 3,252}{12} \right) \right\} \cdot 420 \cdot 1937,5 \\ s &= 123,95 \end{aligned}$$

Didapat jarak tulangan (s) = 123,95 mm  $\approx$  120 mm

Cek syarat jarak maksimum tulangan geser dan luas tulangan minimum sesuai dengan SNI 2847:2013 Ps. 11.7.4. Jarak tulangan tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- 120 mm <  $\frac{d}{5} = \frac{1937,5}{5} = 387,5 \text{ mm (Okay)}$
- 120 mm < 300 mm (Okay)

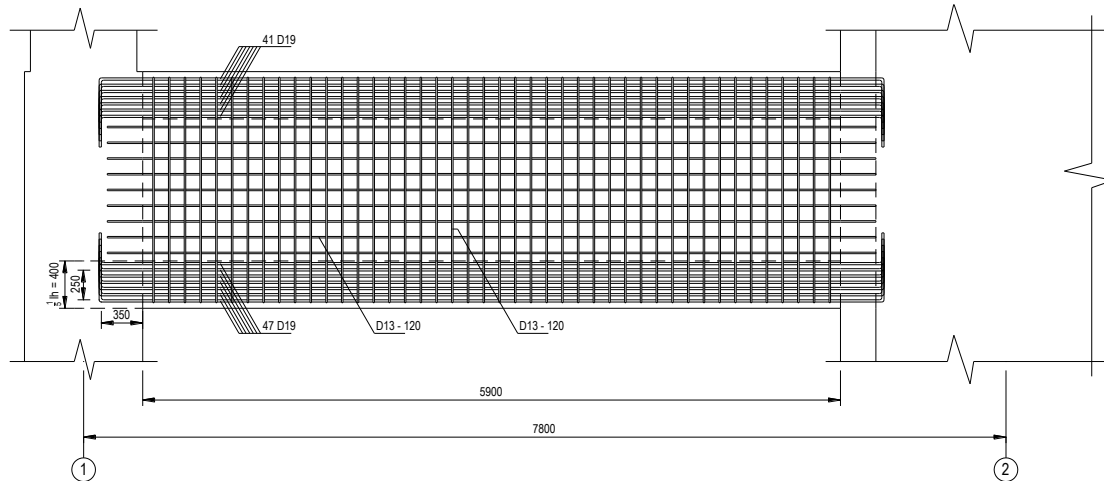
Dan luas tulangan geser pasang ( $A_v$ ) harus lebih besar dari:

- $265,56 \text{ mm}^2 > 0,0025.b_w.s_v = 0,0025.400.120 = 120 \text{ mm}^2$  (*Okay*)
- $265,56 \text{ mm}^2 > 0,0025.b_w.s_h = 0,0025.400.120 = 120 \text{ mm}^2$  (*Okay*)

→ Maka digunakan tulangan geser **2 D13-120**

**Sket hasil perhitungan tulangan:**

Dari hasil perhitungan, didapat sket penulangan balok tinggi seperti pada Gambar 7.20.

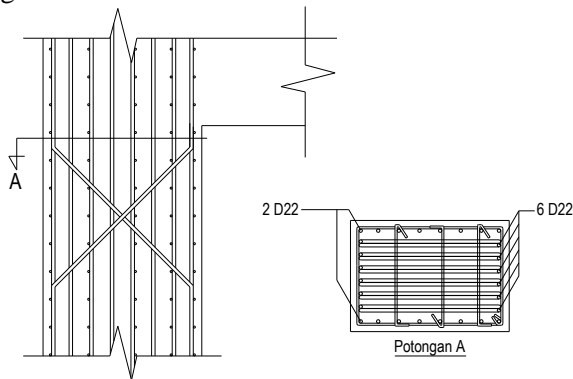


**Gambar 7. 20 Sket hasil perhitungan penulangan balok tinggi As. 1-C;2-C**



### 7.2.2. Hubungan Balok *Outrigger* – Kolom *Outrigger*

Desain HBK *Outrigger* sedikit berbeda dengan desain HBK biasa. Karena akan timbul momen yang sangat besar pada HBK *Outrigger* maka perlu dilakukan modifikasi agar tidak timbul momen terlalu besar yang mana nanti akan membebani kolom. Salah satu alternatif adalah *me-release* momen pada *joint* HBK saat pemodelan struktur pada program ETABS. Sehingga muncul perilaku seperti pada perletakan sendi, dimana hanya timbul gaya horisontal dan vertikal saja. Pada kenyataannya hal tersebut dapat terwujud dengan cara mendesain tulangan silang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.21. Dimana jumlah tulangan terpasang dapat dilihat pada bab kesimpulan rekapitulasi perhitungan kolom.



**Gambar 7. 21 Desain tulangan pada HBK *Outrigger***

Desain pada Gambar 7.21 perlu dikontrol kuat geser beton dan tulangan terhadap gaya geser pada HBK. Dengan data perencanaan dan tata cara perhitungan seperti berikut ini:

#### **Data Perencanaan:**

Tipe kolom		: K-E (Lt.16-22)
Tinggi Kolom	(L)	: 3500
Dimensi kolom	(b)	: 700 mm
	(h)	: 1000 mm

Diameter tulangan	(lentur) : 22 mm $\rightarrow A_s = 380,133 \text{ mm}^2$ (geser) : 13 mm $\rightarrow A_s = 132,732 \text{ mm}^2$
Mutu tulangan	(lentur) $f_y$ : 420 Mpa (geser) $f_y$ : 420 Mpa
Selimut beton	(s) : 40 mm (SNI 2847:2013 Ps. (7.7.1))
Mutu beton	( $f'_c$ ) : 50 Mpa ( $\beta_1$ ) : $0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7}$ (SNI 2847:2013 Ps.10.2.7.3) : $0,85 - 0,05 \frac{50 - 28}{7}$ : 0,693
Tinggi efektif	( $d_{s1}$ ) : 1300 mm ( $d_{s2}$ ) : 936 mm

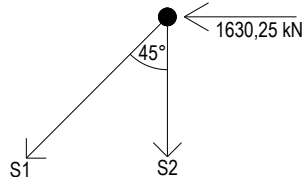
### **Gaya dalam kolom pada HBK:**

Dari *output* program bantu ETABS didapat gaya dalam:

$$P_u = 13742,78 \text{ kN}$$

$$V_u = 1630,25 \text{ kN}$$

Sehingga dapat dianalisa gaya yang timbul pada tulangan silang menggunakan cara titik simpul seperti pada Gambar 7.22.



**Gambar 7. 22 Analisa gaya pada tulangan silang**

$$\Sigma H = 0$$

$$V_u + S_1 \cos 45^\circ = 0$$

$$S_1 = - \frac{V_u}{\cos 45^\circ}$$

$$= - \frac{1630,25}{0,707}$$

$$= - 2305,52 \text{ kN}$$

$$= 2305,52 \text{ kN (tekan)}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$S_2 - S_1 \sin 45^\circ = 0$$

$$S_2 = S_1 \sin 45^\circ$$

$$= 2305,52 \times 0,707$$

$$= 1630,25 \text{ kN (tarik)}$$

**Kuat geser beton:**

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.2.1.2 kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial:

- Arah  $S_1$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left( 1 + \frac{P_u}{14 \times A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times bw \times d \\ &= 0,17 \times \left( 1 + \frac{13742775,9}{14 \times 700000} \right) \times 1 \times \sqrt{50} \times 700 \times 1300 \\ &= 2627888,345 \text{ N} \rightarrow 2627,89 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Arah  $S_2$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left( 1 + \frac{P_u}{14 \times A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times bw \times d \\ &= 0,17 \times \left( 1 + \frac{13742775,9}{14 \times 1040000} \right) \times 1 \times \sqrt{50} \times 700 \times 936 \\ &= 1892079,61 \text{ N} \rightarrow 1892,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Kuat geser tulangan:**

Berdasarkan SNI 2847:2013 Ps. 11.4.7.5 kuat geser tulangan tunggal atau kelompok yang ditekuk adalah sebagai berikut:

- Arah  $S_1$

6 D22 ditekuk  $45^\circ$  dari tulangan longitudinal, maka:

$$A_v = 6 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 = 2280,8 \text{ mm}^2$$

$$V_s = A_v \times f_y \times \sin 45^\circ = 2280,8 \times 420 \times 0,707 = 677362 \text{ N}$$

Tidak boleh lebih besar dari:

$$V_c = 0,25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d = 0,25 \cdot \sqrt{50} \cdot 700 \cdot 1300 = 1608667 \text{ N}$$

Maka digunakan  $V_s = 677362 \text{ N} \rightarrow 677,362 \text{ kN}$  (menentukan)

- Arah  $S_2$

2 D22 ditekuk  $90^\circ$  tegak lurus tulangan longitudinal, maka:

$$A_v = 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 = 760,25 \text{ mm}^2$$

$$V_s = A_v \times f_y \times \sin 90^\circ = 760,25 \times 420 \times 1 = 319311 \text{ N}$$

Tidak boleh lebih besar dari:

$$V_c = 0,25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d = 0,25 \cdot \sqrt{50} \cdot 700 \cdot 936 = 1158240 \text{ N}$$

Maka digunakan  $V_s = 319311 \text{ N} \rightarrow 319,311 \text{ kN}$  (menentukan)

**Cek kuat geser beton dan tulangan terhadap gaya geser:**

- Arah  $S_1$ 

$$\phi \cdot (V_c + V_s) \geq S_1$$

$$0,75 \cdot (2627,89 + 677,362) \geq 2305,52 \text{ kN}$$

$$2478,94 \text{ kN} > 2305,52 \text{ kN (Okay)}$$
- Arah  $S_2$ 

$$\phi \cdot (V_c + V_s) \geq S_2$$

$$0,75 \cdot (1892,08 + 319,311) \geq 1630,25 \text{ kN}$$

$$1658,54 \text{ kN} > 1630,25 \text{ kN (Okay)}$$

Dari perhitungan di atas kuat geser sudah memenuhi syarat SNI 2847:2013. Maka desain seperti pada gambar 7.20 dapat digunakan.

**7.2.3. Daktilitas Kolom *Outrigger***

Seperti yang sudah dijelaskan pada subab 2.1.3.8 dimana nilai  $R$  yang digunakan adalah 5 (SRPMM). Nilai  $R$  tersebut akan dicek dengan hasil desain modifikasi struktur Apartemen Gunawangsa Tidar. Hal ini dikarenakan nilai  $R$  untuk sistem *outrigger* tidak dijelaskan secara spesifik pada SNI. Untuk mengetahui nilai  $R$  bangunan akan dilakukan dengan pendekatan perhitungan daktilitas pada kolom *outrigger*. Perhitungan dilakukan menggunakan program bantu Xtract, dengan tahapan sebagai berikut.

**Data perencanaan:**

Tipe kolom		: K-I (Lt.1)
Tinggi Kolom	(L)	: 3500 mm
Dimensi kolom	(b)	: 700 mm
	(h)	: 1000 mm
Diameter tulangan	(lentur)	: 22 mm $\rightarrow A_s = 380,133 \text{ mm}^2$
	(geser)	: 13 mm $\rightarrow A_s = 132,732 \text{ mm}^2$
Mutu tulangan	(lentur) $f_y$	: 420 Mpa
	(geser) $f_y$	: 420 Mpa
Selimut beton	(s)	: 40 mm
		(SNI 2847:2013 Ps. (7.7.1))
Mutu beton	( $f'_c$ )	: 50 Mpa

$$\begin{aligned}
 (\beta_1) &: 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} \\
 & \text{(SNI 2847:2013 Ps.10.2.7.3)} \\
 &: 0,85 - 0,05 \frac{50 - 28}{7} \\
 &: 0,693 \\
 \text{Tinggi efektif} \quad (d_x) &: 636 \text{ mm} \\
 & (d_y) : 936 \text{ mm} \\
 & (d') : 64 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### **Gaya dalam kolom:**

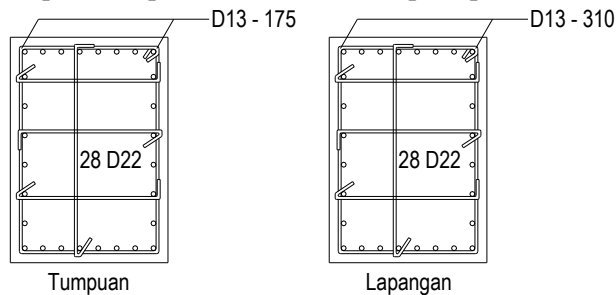
Menggunakan program bantu ETABS, maka didapat gaya dalam kolom seperti yang disajikan pada Tabel 7.7.

**Tabel 7. 7 Output gaya dalam kolom outrigger**

No.	Combo	P	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
		kN	kN	kN	kN.m	kN.m
1.	1,4D	9570,33	153,24	449,59	232,59	679,91
2.	1,2D+1,6L	9608,74	161,34	464,19	244,89	702,02
3.	1,2D+1,6L+0,5W	9707,91	169,07	438,12	256,78	661,68
4.	1,2D+1L+1W	9279,97	165,55	382,50	251,59	576,64
5.	1,2D+1L±RSPX	7870,17	676,68	1638,67	1045,08	2476,26
6.	1,2D+1L±RSPY	4413,08	305,21	1456,57	472,51	2236,24
7.	0,9D±1W	6350,67	113,97	236,89	173,29	356,42
8.	0,9D±RSPX	4940,88	728,27	1493,07	1123,38	2256,04
9.	0,9D±RSPY	1483,79	356,79	1310,96	550,81	2016,02

### **Hasil perhitungan kolom:**

Dengan tata cara perhitungan yang sama seperti pada Subab 7.1.2 maka didapat hasil perencanaan kolom seperti pada Gambar 7.23.



**Gambar 7. 23 Detail tulangan kolom outrigger**

### **Analisa daktilitas:**

Dari gaya dalam yang disajikan pada Tabel 7.7 dan detail penampang serta tulangan kolom seperti pada Gambar 7.23. Maka nilai daktilitas kolom dapat dianalisa dengan tahapan sebagai berikut:

a) Program bantu Xtract

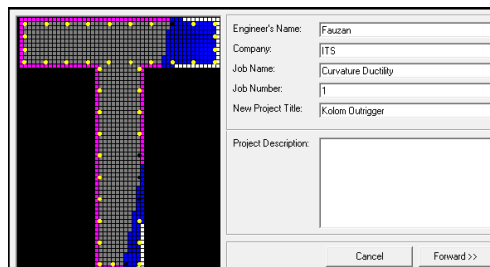
Untuk proses analisa digunakan program bantu Xtract seperti yang ditunjukkan Gambar 7.24.



**Gambar 7. 24 Xtract**

b) *New project*

Pilih menu “*file - new project*” pada tool bar, kemudian akan muncul seperti pada Gambar 7.25.

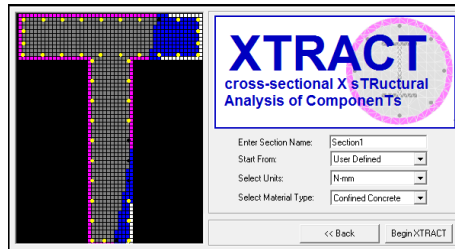


**Gambar 7. 25 New project**

Isi kotak dialog pada Gambar 7.25 sesuai dengan kebutuhan kita, terkait nama proyek, insinyur yang mengerjakan, dan deskripsi terkait dengan proyek tersebut.

c) *New project - page 2*

Setelah tahap (b) selesai, kemudian pilih menu “*forward*” sehingga muncul seperti pada Gambar 7.26.

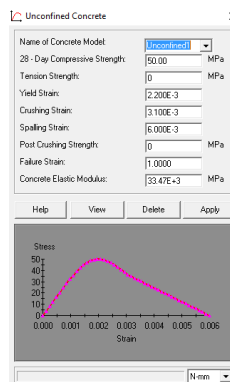


**Gambar 7. 26 New project - page 2**

Pada tahap ini akan ditentukan satuan unit yang digunakan. Sebaiknya untuk *section* gunakan *user defined* agar lebih leluasa didesain sesuai dengan keinginan. Gunakan material *Confined Concrete*, kemudian pilih menu “*begin Xtract*”.

d) *Unconfined concrete (material)*

Pilih menu “*Material – Mander unconfined concrete*” sehingga muncul seperti pada Gambar 7.27.



**Gambar 7. 27 Unconfined concrete**

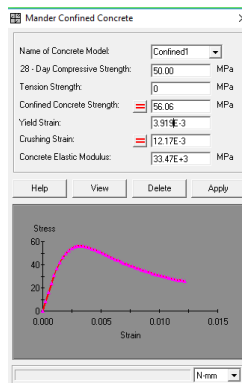
Yang perlu diisi pada kotak dialog adalah *Compressive strength*, *Yield strength*, dan *Crushing strength*. Nilai yang diinput adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Compressive strength } (f'_c) &= 50 \text{ Mpa} \\
 \text{Yield strenght } (\epsilon_{01}) &= 0,0028 - 0,0008.k_3 \\
 k_3 &= \frac{40}{f'_{co}} \leq 1 = \frac{40}{50} = 0,8 \\
 \epsilon_{01} &= 0,0028 - (0,008.0,8) = 0,00216 \\
 \text{Crushing strain } (\epsilon_{85}) &= \epsilon_{01} + 0,0018.k_3^2 \\
 &= 0,00216 + (0,0018.0,8^2) \\
 &= 0,03
 \end{aligned}$$

Setelah semua nilai yang dihitung di-*input*, dan nilai lainnya yang tidak disebutkan pada poin ini dibiarkan menggunakan nilai *default* kemudian pilih “view”. Akan muncul grafik seperti pada Gambar 7.27.

e) *Confined concrete* (material)

Pilih menu “*Material – Mander confined concrete*” sehingga muncul seperti pada Gambar 7.28.



**Gambar 7. 28 Confined concrete**

Yang perlu diisi pada kotak dialog adalah *Compressive strength*, *Yield strength*, *Confined concrete strength*, dan *Crushing strength*. Nilai yang di-*input* adalah sebagai berikut:

$$\text{Compressive strength } (f'_c) = 50 \text{ Mpa}$$

Untuk menghitung *Yield strength* pada *confined concrete*, dengan mengacu Gambar 7.28 terlebih dahulu dihitung nilai – nilai berikut:



$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$s = 175 \text{ mm}$$

$$A_{sx} = 5 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 = 663,66 \text{ mm}^2$$

$$A_{sy} = 3 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 = 398,19 \text{ mm}^2$$

$$b_{cx} = 1000 - (40 \times 2) = 920 \text{ mm}^2$$

$$b_{cy} = 700 - (40 \times 2) = 620 \text{ mm}^2$$

$$K_2 = 1$$

$$\rho_c = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{sx}) + \sum_{i=1}^n (A_{sy})}{[s(b_{cx} + b_{cy})]} = \frac{663,36 + 398,19}{[175(920 + 620)]} = 0,00394$$

$$\begin{aligned} f_s &= E_s \left( 0,0025 + 0,04 \sqrt[3]{\frac{k_2 \cdot \rho_c}{f'_{co}}} \right) \leq f_{yt} \\ &= 200000 \left( 0,0025 + 0,04 \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 0,00394}{50}} \right) \leq 420 \\ &= 420 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$f_{lex} = \frac{\sum_{i=1}^q (A_{sx} \cdot f_s \cdot \sin \alpha)}{s \cdot b_{cx}} = \frac{\sum_{i=1}^q (663,66 \cdot 420 \cdot \sin 90)}{175 \cdot 920} = 1,73$$

$$f_{ley} = \frac{\sum_{i=1}^q (A_{sy} \cdot f_s \cdot \sin \alpha)}{s \cdot b_{cy}} = \frac{\sum_{i=1}^q (398,19 \cdot 420 \cdot \sin 90)}{175 \cdot 620} = 1,54$$

$$f_{le} = \frac{f_{lex} \cdot b_{cx} + f_{ley} \cdot b_{cy}}{b_{cx} + b_{cy}} = \frac{1,73 \cdot 920 + 1,54 \cdot 620}{920 + 620} = 1,65$$

$$k_1 = 6,7 \cdot (f_{le})^{-0,17} = 6,7 \cdot (1,65)^{-0,17} = 6,15$$

$$k = \frac{K_1 \cdot f_{le}}{f'_{co}} = \frac{6,15 \cdot 1,65}{50} = 0,203$$

$$\begin{aligned} \text{Yield strenght} \quad (\epsilon_1) &= \epsilon_{01} \cdot (1 + 5 \cdot k_3 \cdot k) \\ &= 0,00216 \cdot (1 + (5 \cdot 0,8 \cdot 0,203)) \\ &= 0,0039 \end{aligned}$$

Kemudian tahap selanjutnya adalah mengisi kotak dialog *Confined concrete strength* pilih menu (=) untuk menghitung *confinment* hingga muncul seperti Gambar 7.29. Kotak-kotak dialog yang muncul pada Gambar 7.29 diisi sesuai urutannya dengan nilai sebagai berikut:

**Calculate Confinement**

**Method of Calculation**  
☒ Calculate from details ☐ Calculate from confining stress

**Confining Details:**  
 Select type of transverse reinforcing:  
☒ Rectangular Hoop ☐ Circular Hoop ☐ Spirals

Transverse reinforcing bar yield stress: 420.0 MPa  
 X transverse reinforcing steel ratio: 4.120E-3  
 Y transverse reinforcing steel ratio: 3.670E-3  
 Average distance between tied longitudinal bars: 250.0 mm  
 Number of longitudinal bars around core: 28  
 Confined core area: 570.4E+3 mm<sup>2</sup>  
 Tie spacing along member: 175.0 mm  
 28 - Day compressive concrete strength: 50.00 MPa

**Confining Stresses:**  
 X transverse reinforcing confining stress: 0 MPa  
 Y transverse reinforcing confining stress: 0 MPa  
 Concrete confining effectiveness factor: 0  
 28 - Day compressive concrete strength: 50.00 MPa

Confined Concrete Strength: 56.06 MPa Help N-mm

Show help file for the calculate confinement dialog box.

**Gambar 7. 29 Calculate confinement**

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\rho_x = \frac{A_{sx}}{s \cdot b_{cx}} = \frac{663,66}{175 \cdot 920} = 0,00412$$

$$\rho_y = \frac{A_{sy}}{s \cdot b_{cy}} = \frac{398,19}{175 \cdot 620} = 0,00367$$

$$\bar{s}_{\text{tied longitudinal}} = 250 \text{ mm}$$

$$N_{\text{longitudinal bar}} = 28$$

$$A_{ch} = (700 - (2 \times 40)) \times (1000 - (2 \times 40)) = 570400 \text{ mm}^2$$

$$s = 175 \text{ mm}$$

$$f'_c = 50 \text{ Mpa}$$

Jika semua nilai sudah dimasukkan, pilih menu (=) sehingga didapat nilai *Confined concrete strength* = 56,06 Mpa. Setelah itu kembali ke menu Gambar 7.28 lalu pilih menu (=) pada *crushing strain* hingga muncul Gambar 7.30.

**Calculate the Crushing Strain**

Transverse reinforcing bar yield stress: 420.0 MPa  
 Transverse reinforcing steel strain at fracture: 0.1  
 Transverse (Volumetric) reinforcing steel ratio: 7.850E-3  
 Confined Concrete Strength: 56.06 MPa

Crushing Strain: 12.23E-3 Help N-mm

**Gambar 7. 30 Calculate crushing strain**

Dari gambar 7.29 masukan nilai – nilai:

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

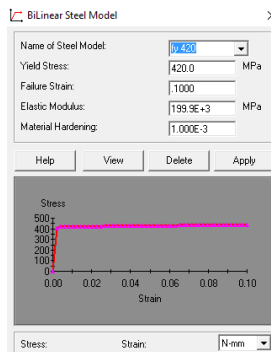
$$\text{steel strain at fracture} = 0,1$$

$$f_{cc} = 56,06 \text{ Mpa}$$

Jika semua nilai sudah dimasukan, pilih menu (=) sehingga didapat nilai *crushing strain* = 0,001223. Setelah semua nilai yang dihitung di-input, kemudian pilih “view”. Akan muncul grafik seperti pada Gambar 7.28.

f) *BiLinear steel (material)*

Pilih menu “*Material – BiLinear*” sehingga muncul seperti pada Gambar 7.31.



**Gambar 7. 31 BiLinear steel model**

*Elastic modulus* dan *Material hardening* tetap menggunakan nilai *default*. Yang diisi adalah nilai berikut:

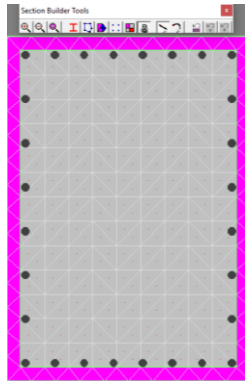
$$\text{Yield stress} = 420 \text{ Mpa}$$

$$\text{Failure strain} = 0,1$$

Kemudian pilih menu “view” sehingga muncul grafik seperti pada Gambar 7.31.

g) *Draw section and rebar*

Setelah memiliki material seperti pada poin (d), (e), dan (f). Tahap selanjutnya adalah menggambar penampang kolom beserta tulangnya dengan bantuan menu “*section builder tools*”. Sehingga didapat penampang kolom seperti pada Gambar 7.32.

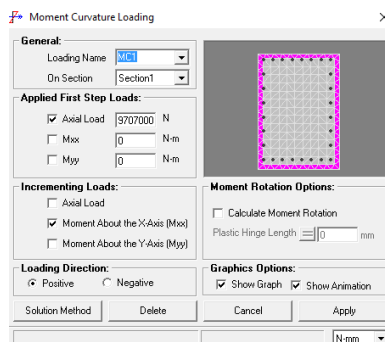


**Gambar 7. 32 Penampang kolom yang dianalisa**

Dapat dilihat pada Gambar 7.32, untuk penampang kolom yang berwarna merah muda menggunakan material yang didesain pada poin (d), untuk penampang kolom yang berwarna abu – abu menggunakan material yang didesain pada poin (e), dan untuk tulangan yang berwarna hitam menggunakan material yang didesain pada poin (f).

h) *Input Beban*

Setelah didapat penampang kolom seperti pada gambar 7.31 tahap selanjutnya adalah pembebanan. Pilih menu “*Loading – Moment curvature*” sehingga muncul Gambar 7.33.



**Gambar 7. 33 Moment curvature loading**

Yang diisikan adalah *axial load*, dimana untuk nilainya diambil yang terbesar dari Tabel 7.7. Maka digunakan nilai 9707000 N dengan *incrementing load* terhadap momen arah-x untuk arah-x. Dan untuk arah-y digunakan *incrementing load* terhadap momen arah-y, dengan *axial load* yang sama.

i) *Run analysis*

Tahap terakhir adalah pilih menu “*Process – Run analysis*” sehingga didapat *output* berupa *moment curvature* yang digunakan untuk analisa daktilitas kolom.

**Hasil analisa:**

Setelah melalui tahap dari poin (a) hingga (i) didapat output sebagai berikut:

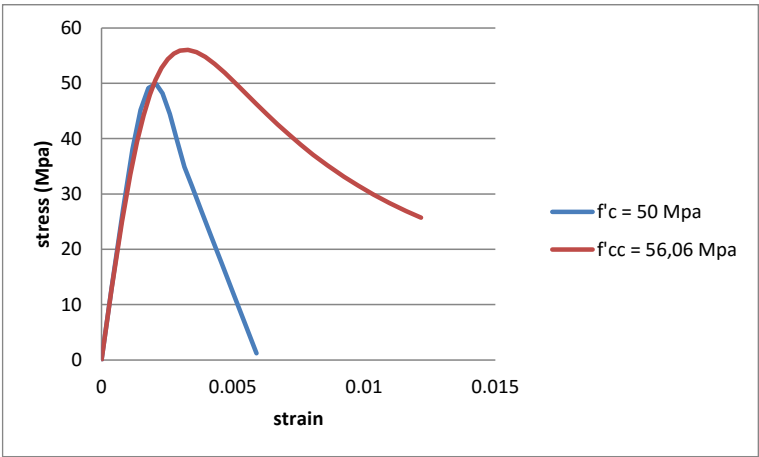
- Untuk hubungan regangan – tegangan beton unconfined ( $f'_c$ ) 50 Mpa dan beton confined ( $f'_{cc}$ ) 56,06 Mpa dapat dilihat pada Tabel 7.8.

**Tabel 7. 8 Hubungan regangan - tegangan beton**

<b><math>f'_c = 50</math> Mpa</b>	
<i>strain</i>	<i>stress</i>
0	0
0,0004	12,9900
0,0008	27,3600
0,0012	38,0800
0,0015	45,1600
0,0018	49,1200
0,0021	49,9100
0,0023	48,1800
0,0026	44,4700
0,0029	39,6000
0,0032	34,8900
0,0034	31,5100
0,0038	27,0600
0,0042	22,3400
0,0046	17,4300
0,0050	12,3600
0,0054	6,9670
0,0059	1,2020

<b><math>f'_c = 56,06</math> Mpa</b>	
<i>strain</i>	<i>stress</i>
0	0
0,0004	12,8600
0,0008	24,9500
0,0011	33,4600
0,0016	44,1900
0,0021	50,5800
0,0025	54,3400
0,0030	55,8900
0,0036	55,6300
0,0043	53,4800
0,0051	49,9900
0,0059	46,2700
0,0067	42,5500
0,0076	38,9100
0,0086	35,1400
0,0098	31,5000
0,0110	28,3600
0,0122	25,7100

Dari Tabel 7.8 maka didapat grafik hubungan regangan – tegangan beton seperti pada Gambar 7.34.



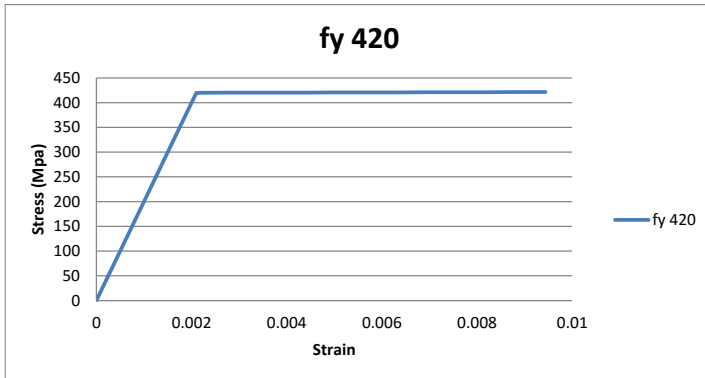
**Gambar 7. 34 Grafik hubungan regangan – tegangan beton**

- Dengan analisa *BiLinier* maka untuk hubungan regangan – tegangan baja  $f_y$  420 Mpa dapat dilihat pada Tabel 7.9.

**Tabel 7. 9 Hubungan regangan – tegangan tulangan baja**

$f_y = 420 \text{ Mpa}$	
<i>strain</i>	<i>stress</i>
0	0
0,00001	1,71300
0,00048	96,34000
0,00101	201,80000
0,00155	310,60000
0,00210	420,00000
0,00268	420,10000
0,00324	420,20000
0,00379	420,30000
0,00435	420,40000
0,00491	420,60000
0,00696	421,00000
0,00824	421,20000
0,00944	421,50000

Dari Tabel 7.9 maka didapat grafik hubungan regangan – tegangan beton seperti pada Gambar 7.35



**Gambar 7. 35 Grafik hubungan regangan – tegangan baja**

- Hubungan momen-x ( $M_{xx}$ ) – *curvature*-x ( $K_{xx}$ ) dan momen-y ( $M_{yy}$ ) – *curvature*-y ( $K_{yy}$ ) dapat dilihat pada Tabel 7.10.

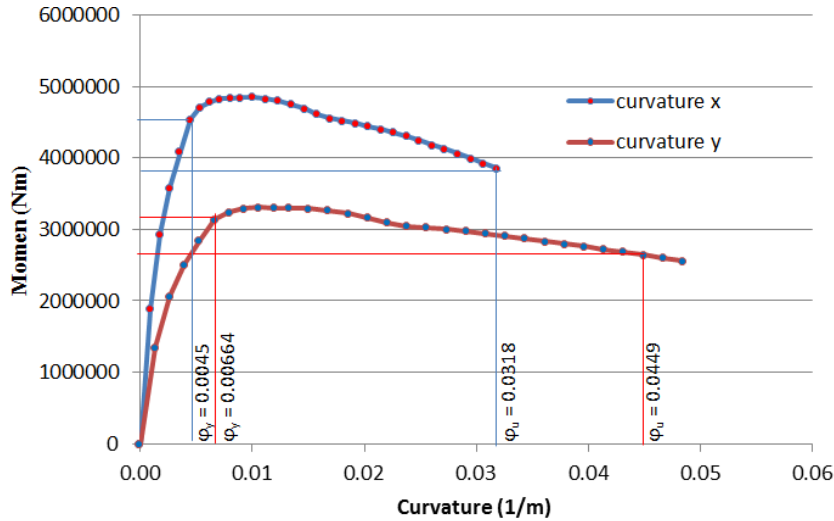
**Tabel 7. 10 Hubungan momen - *curvature***

Arah-X		Arah-Y	
$K_{xx}$ (1/m)	$M_{xx}$ (Nm)	$K_{yy}$ (1/m)	$M_{yy}$ (Nm)
0	0	0	0
0,0009	1883000	0,0013	1344000
0,0018	2937000	0,0027	2065000
0,0027	3586000	0,0040	2504000
0,0036	4100000	0,0053	2852000
0,0045	4536000	0,0066	3140000
0,0054	4708000	0,0080	3244000
0,0063	4786000	0,0093	3290000
0,0071	4828000	0,0106	3306000
0,0080	4842000	0,0119	3305000
0,0089	4834000	0,0133	3303000
0,0101	4802000	0,0150	3291000
0,0112	4752000	0,0168	3265000
0,0124	4689000	0,0185	3223000
0,0135	4613000	0,0203	3166000
0,0146	4559000	0,0221	3095000

**Tabel 7. 10 Hubungan momen – curvature (lanjutan)**

Arah-X		Arah-Y	
K <sub>xx</sub> (1/m)	M <sub>xx</sub> (Nm)	K <sub>yy</sub> (1/m)	M <sub>yy</sub> (Nm)
0,0158	4613000	0,0238	3048000
0,0169	4559000	0,0256	3026000
0,0181	4524000	0,0273	3001000
0,0192	4487000	0,0291	2974000
0,0204	4448000	0,0308	2945000
0,0215	4406000	0,0326	2912000
0,0226	4363000	0,0344	2873000
0,0238	4312000	0,0361	2836000
0,0249	4254000	0,0379	2798000
0,0261	4185000	0,0396	2760000
0,0272	4126000	0,0414	2723000
0,0283	4060000	0,0431	2684000
0,0295	3993000	0,0449	2643000
0,0306	3921000	0,0467	2603000
0,0318	3861000	0,0484	2516000

Dari Tabel 7.10 maka didapat grafik hubungan momen – *curvature* seperti pada Gambar 7.36.



**Gambar 7. 36 Grafik hubungan momen – *curvature***



### **Daktilitas kolom:**

Untuk mengetahui daktilitas kolom, digunakan rumus pendekatan *curvature* ketika 0,8 dari momen puncak (*peak*) dibagi dengan *curvature* ketika momen leleh (*yield*). Dengan melihat Tabel 7.10 dan Gambar 7.36 maka didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

- Arah-X

Kondisi leleh ( $\phi_y$ ):

$$K_{xx} = 0,0045 \text{ 1/m}$$

$$M_{xx} = 4536000 \text{ Nm}$$

Kondisi 0,8 dari puncak ( $\phi_u$ ):

$$K_{xx} = 0,0318 \text{ 1/m (paling mendekati } M_{xx} \text{ pada Tabel 7.10)}$$

$$M_{xx} = 3881600 \text{ Nm}$$

Daktilitas:

$$\frac{0,0318}{0,0045} = 7,11$$

- Arah-Y

Kondisi leleh ( $\phi_y$ ):

$$K_{yy} = 0,00664 \text{ 1/m}$$

$$M_{yy} = 3140000 \text{ Nm}$$

Kondisi 0,8 dari puncak ( $\phi_u$ ):

$$K_{yy} = 0,0449 \text{ 1/m (paling mendekati } M_{yy} \text{ pada Tabel 7.10)}$$

$$M_{yy} = 2644800 \text{ Nm}$$

Daktilitas:

$$\frac{0,0449}{0,00664} = 6,76$$

Yang menentukan dari kedua nilai di atas adalah 6,76. Karena nilai koefisien reduksi gempa (R) yang digunakan adalah  $5 < 6,76$ . Maka perencanaan awal untuk nilai koefisien reduksi gempa (R) sudah tepat.

❖ Sebagai informasi tambahan, nilai material juga bisa dihitung manual kemudian di-*input* secara manual menggunakan menu “user defined” pada program Extract. Contoh perhitungan manual terlampir.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB VIII PENUTUP**

### **8.1. Kesimpulan**

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, dapat ditarik kesimpulan khususnya terkait Sistem *Outrigger* dan *Belt-Truss* yaitu sebagai berikut:

1. Simpangan antar lantai untuk arah-Y melebihi batas ijin yang ditentukan sesuai dengan SNI. Maka dipasang Balok *Outrigger* dengan dimensi 400 mm x 2000 mm dan *Belt-Truss* dengan dimensi yang sama pada lantai tingkat 22. Setelah dilakukan analisa ulang dengan Sistem *Outrigger* dan *Belt-Truss*, simpangan antar lantai dapat memenuhi syarat SNI.
2. Nilai daktilitas Kolom *Outrigger* adalah sebesar 6,76 yang mana lebih besar dari koefisien reduksi gempa ( $R$ ) yang direncanakan sebesar 5. Sehingga daktilitas bangunan (khususnya Kolom *Outrigger*) dengan koefisien  $R=5$  dapat terpenuhi.
3. Berikut ini adalah rekapitulasi hasil perhitungan balok dan kolom. Rekapitulasi hasil perhitungan balok dapat dilihat pada Tabel 8.1 dan kolom dapat dilihat pada Tabel 8.2.

**Tabel 8. 1 Rekapitulasi hasil perhitungan balok**

Lt.	Tipe	Bentang	Dimensi		Longitudinal				Transversal		Torsi
		L	b	h	Tumpuan		Lapangan		Lapangan	Tumpuan	
		(mm)	(mm)	(mm)	(+)	(-)	(+)	(-)			
1	B1-E	5400	300	400	2 D19	3 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B1-I	5400	300	400	2 D19	4 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B2-E	7800	400	600	4 D19	6 D19	4 D19	4 D19	2 D10 – 270	2 D10 – 130	2 D19
	B2-I	7800	400	600	4 D19	7 D19	5 D19	4 D19	2 D10 – 270	2 D10 – 130	2 D19
	B3	6550	400	600	4 D19	8 D19	4 D19	4 D19	2 D10 – 270	2 D10 – 130	2 D19
2 – 8	B1-E	5400	300	400	2 D19	3 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B1-I	5400	300	400	2 D19	5 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B2-E	7800	400	600	6 D19	11 D19	4 D19	4 D19	3 D10 – 160	3 D10 – 130	2 D19
	B2-I	7800	400	600	5 D19	12 D19	5 D19	4 D19	3 D10 – 270	3 D10 – 130	2 D19
	B3	6550	400	600	7 D19	16 D19	4 D19	4 D19	3 D10 – 190	3 D10 – 130	2 D19
9 – 15	B1-E	5400	300	400	2 D19	4 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B1-I	5400	300	400	3 D19	7 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B2-E	7800	400	600	7 D19	13 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 130	3 D10 – 120	2 D19
	B2-I	7800	400	600	6 D19	15 D19	5 D19	4 D19	3 D10 – 180	3 D10 – 120	2 D19
	B3	6550	400	650	8 D19	16 D19	4 D19	4 D19	3 D10 – 170	3 D10 – 130	2 D19
16 – 22	B1-E	5400	300	400	2 D19	4 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B1-I	5400	300	400	3 D19	8 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B2-E	7800	400	600	7 D19	13 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 130	3 D10 – 120	2 D19
	B2-I	7800	400	600	5 D19	14 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D19
	B3	6550	400	650	7 D19	14 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 130	3 D10 – 110	2 D19

**Tabel 8. 1 Rekapitulasi hasil perhitungan balok (Lanjutan)**

Lt.	Tipe	Bentang	Dimensi		Longitudinal				Transversal		Torsi
		L	b	h	Tumpuan		Lapangan		Lapangan	Tumpuan	
		(mm)	(mm)	(mm)	(+)	(-)	(+)	(-)			
23 – 29	B1-E	5400	300	400	2 D19	4 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B1-I	5400	300	400	4 D19	10 D19	3 D19	3 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B2-E	7800	400	600	6 D19	13 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 120	3 D10 – 100	2 D19
	B2-I	7800	400	600	6 D19	16 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D19
	B3	6550	400	650	7 D19	16 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 120	3 D10 – 100	2 D19
30 – 36	B1-E	5400	300	400	2 D19	5 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B1-I	5400	300	400	5 D19	11 D19	3 D19	3 D19	2 D10 – 150	2 D10 – 80	2 D19
	B2-E	7800	400	600	7 D19	14 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 110	3 D10 – 100	2 D19
	B2-I	7800	400	600	6 D19	16 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D19
	B3	6550	400	650	8 D19	17 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 110	3 D10 – 90	2 D19
37 – 43	B1-E	5400	300	400	2 D19	5 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B1-I	5400	300	400	6 D19	13 D19	3 D19	3 D19	2 D10 – 120	2 D10 – 80	2 D19
	B2-E	7800	400	600	6 D19	13 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 120	3 D10 – 100	2 D19
	B2-I	7800	400	600	5 D19	15 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D19
	B3	6550	400	650	7 D19	16 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 110	3 D10 – 90	2 D19
44 – 50	B1-E	5400	300	400	2 D19	5 D19	2 D19	2 D19	2 D10 – 170	2 D10 – 80	2 D19
	B1-I	5400	300	400	6 D19	13 D19	3 D19	3 D19	2 D10 – 120	2 D10 – 80	2 D19
	B2-E	7800	400	600	6 D19	13 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 120	3 D10 – 100	2 D19
	B2-I	7800	400	600	5 D19	15 D19	7 D19	4 D19	3 D10 – 150	3 D10 – 100	2 D19
	B3	6550	400	650	7 D19	16 D19	5 D19	5 D19	3 D10 – 110	3 D10 – 90	2 D19

**Tabel 8. 2 Rekapitulasi hasil perhitungan kolom**

Lt.	Tipe	Bentan g	Dimensi		Longitudinal	Rasio	Transversal			
		L	b	h			Tumpuan		Lapangan	
		(mm)	(mm)	(mm)			Arah-X	Arah-Y	Arah-X	Arah-Y
1	KL-I	4000	800	1300	64 D22	2,38	6 D13 – 170	4 D13 – 170	6 D13 – 300	4 D13 – 300
	KL-E	4000	700	1200	40 D22	1,84	6 D13 – 170	4 D13 – 170	6 D13 – 300	4 D13 – 300
2-8	KL-I	3500	750	1250	64 D22	2,64	6 D13 – 170	4 D13 – 170	6 D13 – 300	4 D13 – 300
	KL-E	3500	700	1200	36 D22	1,66	6 D13 – 170	4 D13 – 170	6 D13 – 300	4 D13 – 300
9-15	KL-I	3500	650	1150	48 D22	2,49	6 D13 – 170	4 D13 – 170	6 D13 – 290	4 D13 – 290
	KL-E	3500	700	1100	32 D22	1,61	6 D13 – 170	4 D13 – 170	6 D13 – 290	4 D13 – 290
16-22	KL-I	3500	600	1000	38 D22	2,45	5 D13 – 150	3 D13 – 150	5 D13 – 260	3 D13 – 260
	KL-E	3500	700	1000	28 D22	1,55	5 D13 – 150	3 D13 – 150	5 D13 – 260	3 D13 – 260
23-29	KL-I	3500	500	900	28 D22	2,41	5 D13 – 150	3 D13 – 150	5 D13 – 210	3 D13 – 210
	KL-E	3500	650	900	24 D22	1,59	5 D13 – 150	3 D13 – 150	5 D13 – 210	3 D13 – 210
30-36	KL-I	3500	500	800	22 D22	2,13	4 D13 – 150	3 D13 – 150	4 D13 – 210	3 D13 – 210
	KL-E	3500	600	800	18 D22	1,45	4 D13 – 150	3 D13 – 150	4 D13 – 210	3 D13 – 210
37-43	KL-I	3500	500	650	14 D22	1,67	4 D13 – 150	3 D13 – 150	4 D13 – 210	3 D13 – 210
	KL-E	3500	550	700	14 D22	1,41	4 D13 – 150	3 D13 – 150	4 D13 – 210	3 D13 – 210
44-50	KL-I	3500	500	500	12 D22	1,86	3 D13 – 150	3 D13 – 150	3 D13 – 210	3 D13 – 210
	KL-E	3500	500	600	12 D22	1,55	3 D13 – 150	3 D13 – 150	3 D13 – 210	3 D13 – 210

4. Untuk hasil perencanaan lebih detail di lampirkan dalam bentuk gambar perencanaan.

## **8.2. Saran**

Saran yang bisa diberikan berdasar hasil analisa adalah diperlukan studi lebih lanjut berkaitan dengan daktilitas struktur yang menggunakan sistem *outrigger* dan *belt-trus*.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



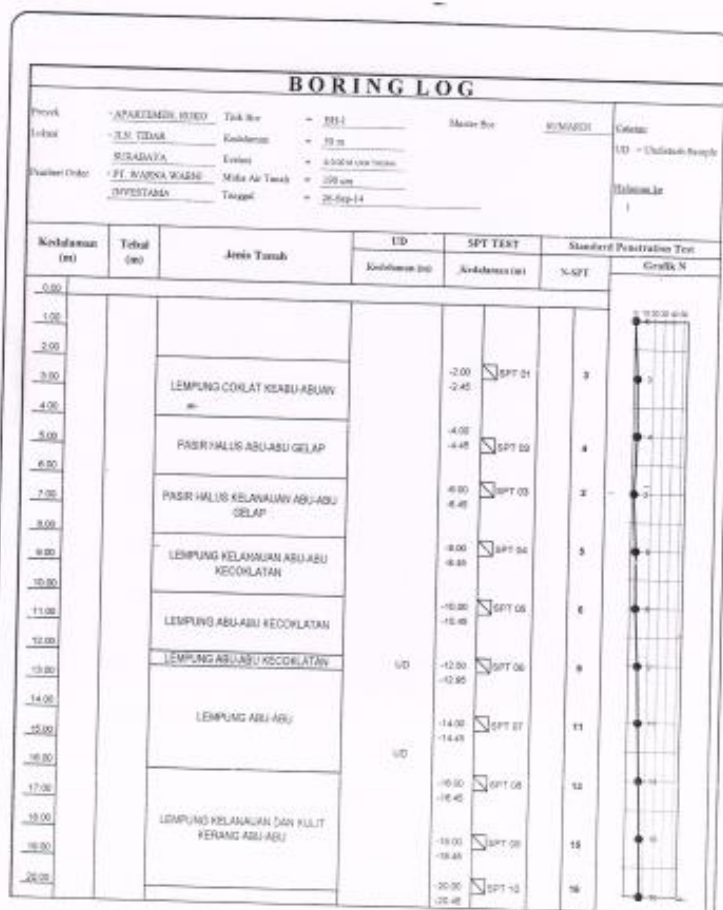
## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., & Moon, K. S. (2007). Architectural Science Review. *Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects*, 205-223.
- American Society of Civil Engineers. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston, Virginia: ASCE.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Bandung: PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Bandung: PU.
- Gazali, M., & Iranata, D. (2012). POMITS. *Studi Perbandingan Perilaku Bangunan Menggunakan SRPM, SRBK, dan SRBK Menggunakan Outrigger Terhadap Variasi Tinggi Gedung*, Vol. 1 - No. 2.
- Gerasimidis, S., Efthymiou, E., & Baniotopoulos, C. (2009). EACWE 5. *Optimum Outrigger Locations of High-Rise Steel Buildings for Wind Loadings*, 19-23.
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. New Jersey: Pearson Education. 1141 hal.
- Nanduri, P. R., Suresh, B., & Hussain, M. I. (2013). American Journal of Engineering Research. *Optimum Position of*

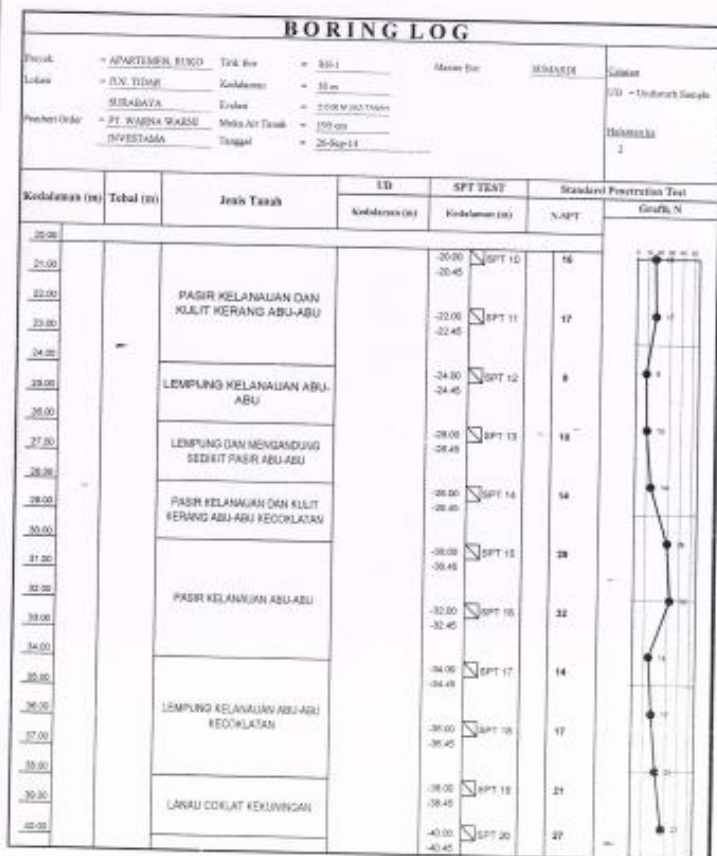
- Outrigger System for High-Rise Reinforced Concrete Buildings Under Wind And Earthquake Loadings*, 76-89.
- Nawy, E. G., Tavio, dan Kusuma, B. 2010. "*Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar Jilid 1*". Surabaya : ITSPress. 974 hal
- Nawy, E. G., Tavio, dan Kusuma, B. 2010. "*Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar Jilid 2*". Surabaya : ITSPress. 974 hal.
- Park, R., & Paulay, T. (1974). *Reinforced Concrete Structures*. Christchurch: Wiley-Interscience. 758 hal.
- Paulay, T., & Priestley, M. (1992). *Seismic Design of Seismic of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. Canada: John Wiley & Sons. 768 hal.
- Priestley, M., Calvi, G., & Kowalsky, M. (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Structures*. Pavia: IUSS Press. 721 hal.
- Razvi, S., & Saatcioglu, M. (1999). *Journal of Structural Engineering. Confinement Model for High-Strength Concrete*, 281-289.
- S. Taranath, B. (2012). *Structural Analysis and Design for Tall Buildings*. Boca Raton: CRC Press. 722 hal.
- Syahriar, Y., Mukarrom, M., Iranata, D., & Adi, T. W. (2012). POMITS. *Analisis Perbandingan Efektifitas Struktur Gedung dengan Menggunakan Shearwall dan Kombinasi Antara Shearwall-Outrigger*, Vol. 1 - No.1.
- Tavio, & Kusuma, B. (2009). *Desain Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya: ITS Press. 141 hal.
- Wang, C.-K., & G. Salmon, C. (1984). *Reinforced Concrete Design*. Longman Higher Education. 947 hal.

## **LAMPIRAN**

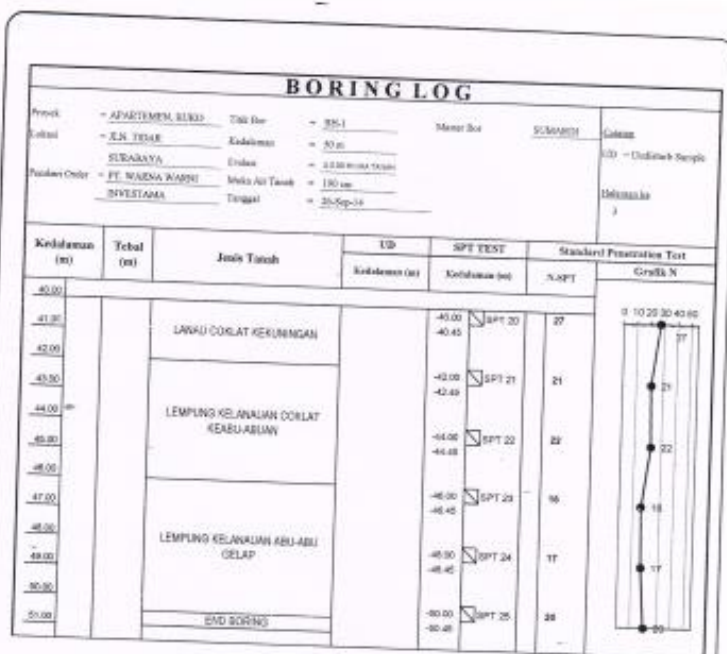
### **Lampiran A (Data Tanah)**



**LABORATORIUM**  
**MEKANIKA TANAH**  
 UNIVERSITAS KRISTEN PETRA



**LABORATORIUM  
MEKANIKA TANAH**  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

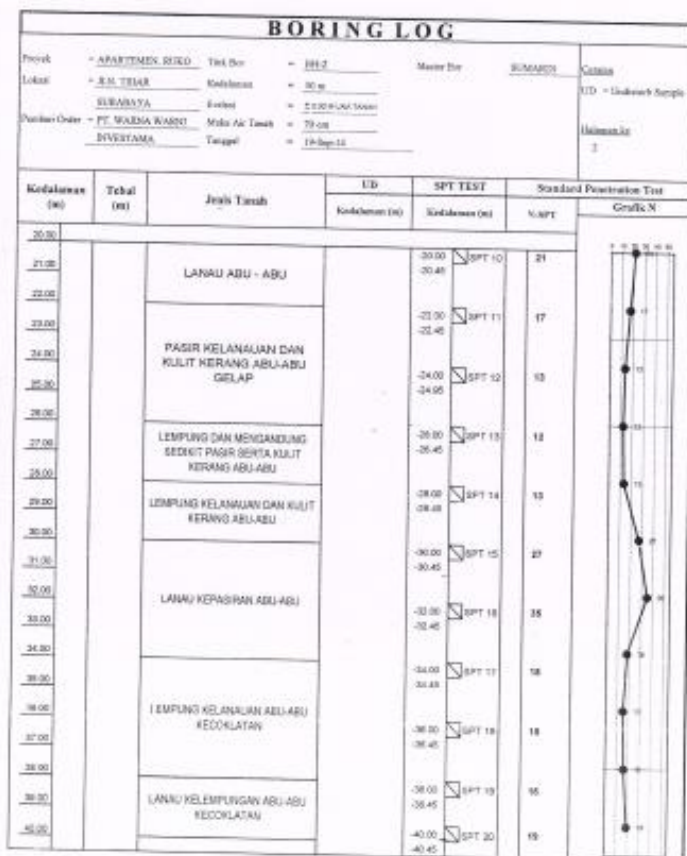


**LABORATORIUM  
MEKANIKA TANAH**  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

BORING LOG						
Proyek	APARTMEN RINGO	Titik Bor	= DR-2	Metode Bor	DIAMETER	Catatan
Lokasi	DJ. TUMBU	Kedalaman	= 50 m			SD - Undur/Back Sample
	SUGARAYA	Frekuensi	= 1000 M/LAKSIAN			
Penyedia Order	PT. WARSA WARDI	Muka Air Tanah	= 33 cm			Isotermal
	INVESTAMA	Tanggal	= 19-Sep-14			
Kedalaman (m)	Tebal (m)	Jenis Tanah	LD Kedalaman (m)	SPT TEST Kedalaman (m)	Standard Penetration Test N <sub>SPT</sub>	Graph N
0.00						
1.00						
2.00						
3.00		LEMPUNG ABU-ABU GELAP	LD	-3.00 SPT 01	2	
4.00				-3.00		
5.00						
6.00		LEMPUNG LUNAK KEPASIRAN	LD	-6.00 SPT 02	1	
7.00				-6.00		
8.00				-6.00		
9.00		LEMPUNG KILANAUAN ABU-ABU KECEPATAN		-9.00 SPT 03	2	
10.00				-9.00		
11.00				-9.00		
12.00		LEMPUNG KELANAUAN COKLAT KEABU-ABU		-12.00 SPT 04	5	
13.00				-12.00		
14.00				-12.00		
15.00		LEMPUNG KELANAUAN ABU-ABU		-15.00 SPT 05	11	
16.00				-15.00		
17.00				-15.00		
18.00				-15.00		
19.00		LAMU KEPASIRAN ABU-ABU GELAP		-19.00 SPT 06	17	
20.00				-19.00		
				-19.00		
				-20.00 SPT 07	21	
				-20.00		
				-20.00		

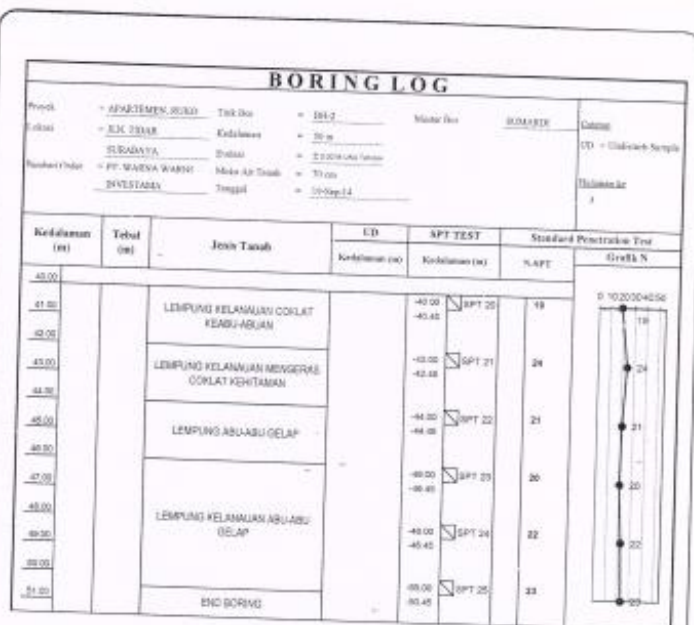


LABORATORIUM  
MEKANIKA TANAH  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA



**LABORATORIUM  
MEKANIKA TANAH**  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA






**LABORATORIUM  
MEKANIKA TANAH**  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

BORING LOG							
Profil:	APARTEMEN RIBU	Tipe Bty	= B1-G	Menor Ibr	SUMBER	Catatan	
Lokasi:	JL. TITAN	Kedalaman	= 40 m			UD - Unlatched Sample	
	SURABAYA	Estimasi	= 2.000 Laga Tanah				
Perbet Order:	PT. WADDA KARYA	Maka Air Tanah	= 70 cm			Skema Is	
	SVISTAMA	Tanggal	= 30-Sept-14			1	

Kedalaman (m)	Tebal (m)	Jenis Tanah	LD	SPT TEST		Standard Penetration Test	
			Kedalaman (m)	Kedalaman (m)	N-SPT	Grafik N	
0.00							
1.00							
2.00							
3.00		LEMPUNG ABU-ABU KECOKLATAN		-2.30	SPT 01	1	
4.00				-3.45			
5.00		PASIR HALUS ABU-ABU		-4.00	SPT 02	2	
6.00				-4.45			
7.00				-5.00	SPT 03	1	
8.00				-5.45			
9.00		LEMPUNG LUNAK DAN PASIR HALUS ABU-ABU		-6.00	SPT 04	2	
10.00				-6.45			
11.00		LEMPUNG KELAMUAN ABU-ABU KECUNYONAN	UD	-10.90	SPT 05	6	
12.00				-10.95			
13.00		LEMPUNG KELAMUAN ABU-ABU KECOKLATAN	UD	-12.00	SPT 06	7	
14.00				-12.45			
15.00		LEMPUNG ABU-ABU		-14.30	SPT 07	11	
16.00				-14.45			
17.00		LAMAU DAN KULIT KERANG ABU-ABU		-15.00	SPT 08	29	
18.00				-15.45			
19.00		LAMAU KEPASIRAN DAN KULIT KERANG ABU-ABU		-19.00	SPT 09	18	
20.00				-19.45			
21.00				-20.90	SPT 10	18	
22.00				-22.45			




**LABORATORIUM**  
**MEKANIKA TANAH**  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

BORING LOG						
Proyek	= KAMPUS BARU	Tipe Bor	= B-5	Master Bor	RUMAH	
Lokasi	= J. K. TIGA	Kedalaman	= 40 m		Gedung	
	= K. RANJA				ID = 1 inch x 1/2 Sample	
Pembiayai	= PT. NAKA WAKI	Muka Air Tanah	= 70 cm		Skala 1:2	
	= DIFTAMA	Tanggal	= 18-Sep-12		2	

Kedalaman (m)	Tebal (m)	Jenis Tanah	ID		Standard Penetration Test	
			Kedalaman (m)	Kedalaman (m)	N-SPT	Grafik N
20.00						
21.00		PASIR KELANJAN ABU-ABU	30.00	30.45	SPT 10	18
22.00		GELAP DAN KULIT KERANG	32.00	32.45	SPT 11	18
23.00			34.00	34.55	SPT 12	21
24.00		LANAU KEPASIRAN DAN KULIT	36.00	36.45	SPT 13	14
25.00		KERANG ABU-ABU GELAP	38.00	38.45	SPT 14	19
26.00			40.00	40.45	SPT 15	22
27.00		LANAU KELEMPUNGAN ABU-ABU	42.00	42.45	SPT 16	22
28.00			44.00	44.45	SPT 17	28
29.00		LANAU KEPASIRAN DAN KULIT	46.00	46.45	SPT 18	28
30.00		KERANG COKLAT KEABU-ABUAN	48.00	48.45	SPT 19	33
31.00			50.00	50.45	SPT 20	27
32.00		PASIR KELANJAN ABU-ABU				
33.00		GELAP				
34.00		LANAU KEPASIRAN ABU-ABU				
35.00						
36.00		LANAU ABU-ABU KEKOKLATAN				
37.00						
38.00		LANAU ABU-ABU				
39.00						
40.00		LEMPUNG KELABU-ABU KULIT KERANG ABU-ABU				
41.00		END BORING				



**LABORATORIUM**  
**MEKANIKA TANAH**  
 UNIVERSITAS KRISTEN PETRA



BORING LOG								
Proyek	APARTEMEN BERG		Tipe Bore	= 20-4	Manajemen	SUMARIS		
Lokasi	JL. TIDAR		Endreman	= 30 m	Geologi	UD - Underside Sample		
	SUNGAYA		Profil	= 2000 Mula Tanah				
Pemakai Order	PT. SURINA RABDI		Muka Air Tanah	= 140 cm				
	INVESTAMA		Urang	= 25-Agri-15				
Kedalaman (m)	Tebal (m)	Jenis Tanah	ED		SPT TEST		Standard Penetration Test	
			Kedalaman (m)	Endreman (m)	N.SPT	Grain N		
20.00		PASIR KELANJUAN DAN KULIT KERANG						
21.00								
22.00								
23.00								
24.00								
25.00								
26.00								
27.00								
28.00								
29.00								
30.00								
31.00								
32.00								
33.00		LAMAU MENGERSAK COKLAT KECOKLATAN						
34.00		LAMAU KEPASIRAN MENGERSAK ABU-ABU						
35.00								
36.00		LAMPUNG KELANJUAN ABU-ABU KECOKLATAN						
37.00								
38.00		LAMAU KEPASIRAN ABU-ABU KECOKLATAN						
39.00								
40.00		LAMAU KEPASIRAN ABU-ABU KECOKLATAN						
41.00								
42.00								



**LABORATORIUM  
MEKANIKA TANAH**  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

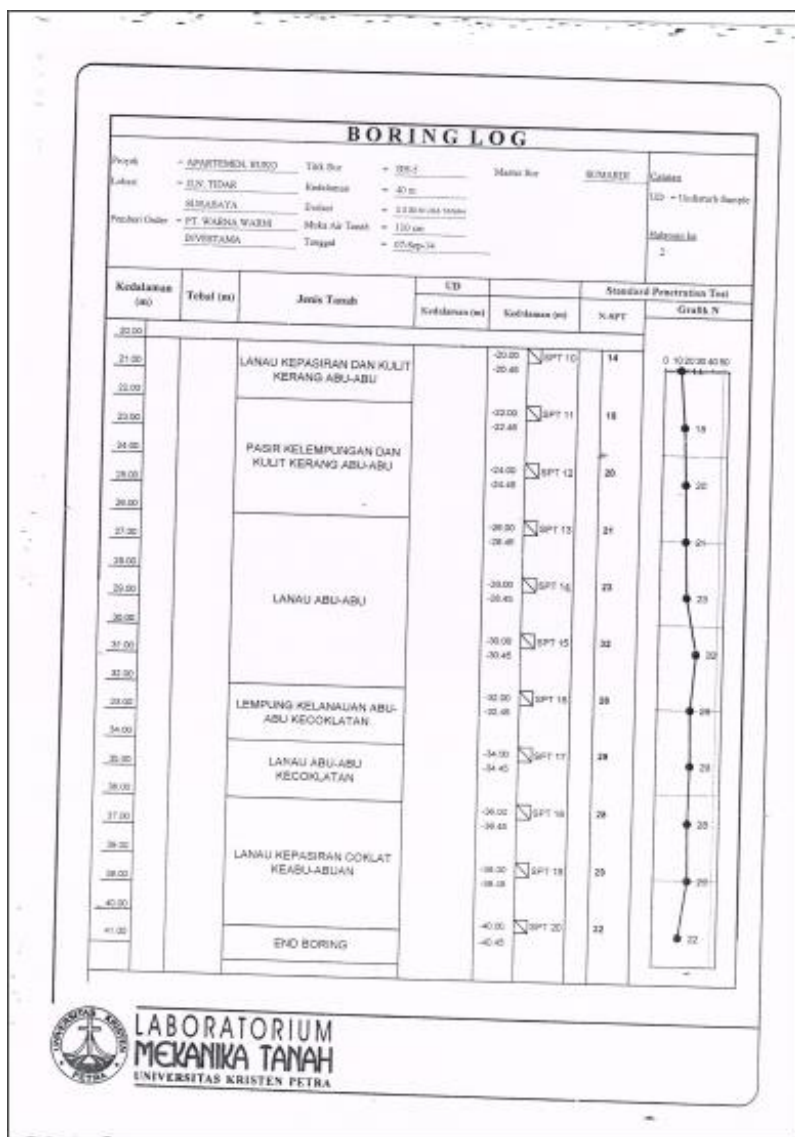
BORING LOG							
Proyek	APARTEMEN BUKU		Tipe Bor	DI-4		Master Bor	RENAISSANCE
Lokasi	JL. DEW		Kedalaman	20 m			
	SERABAYA		Isolasi	4.5-10 cm Lapis Pasir			
Proyek Order	PT. WABDA WABDA		Media Air Tanah	100 cm			
	(09/12/2018)		Uraian	20-Sep-14			
Catatan: UD = Uniform Sample Saluran Isi 3							
Kedalaman (m)	Tebal (m)	Jenis Tanah	UD Kedalaman (m)	SPT TEST Kedalaman (m)	Standard Penetration Test N-SPT	Graph N	
40.00		LAPUK KEMASAN ASU-ABU KECORLATAN		-41.00 SPT 20 -41.40	22		
41.00		LEMPUNG KELAMPAHAN COKLAT KEABU-ABUAN		-43.00 SPT 21 -43.40	18		
42.00				-45.00 SPT 20 -45.40	20		
43.00							
44.00		LEMPUNG MENGORAS ASU-ABU KECORLATAN		-47.00 SPT 25 -47.40	22		
45.00				-48.00 SPT 24 -48.40	28		
46.00				-50.00 SPT 25 -50.40	38		
47.00		END BORING					



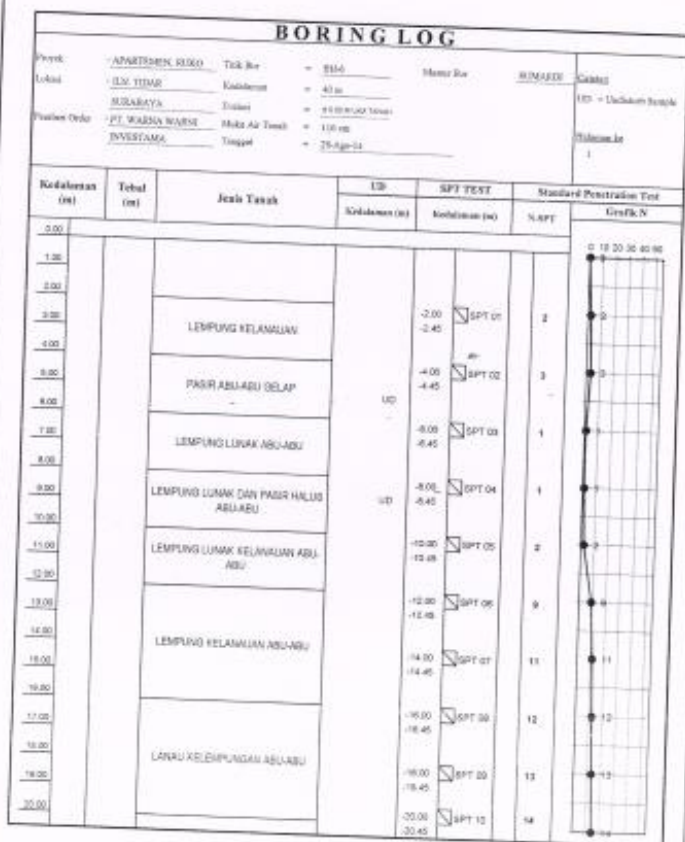
LABORATORIUM  
MEKANIKA TANAH  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

**LABORATORIUM  
MEKANIKA TANAH**  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA







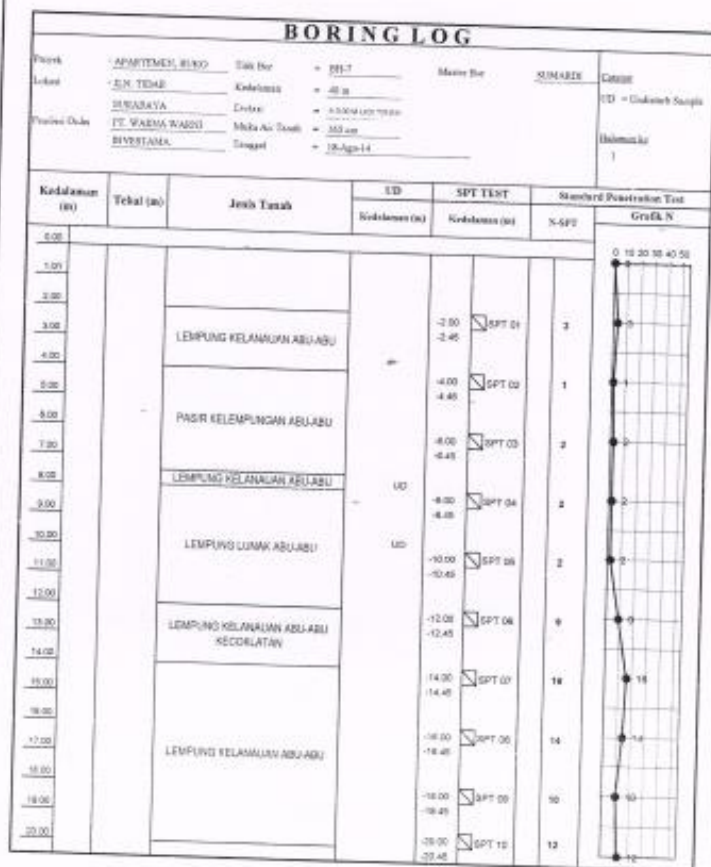


**LABORATORIUM  
MEKANIKA TANAH**  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

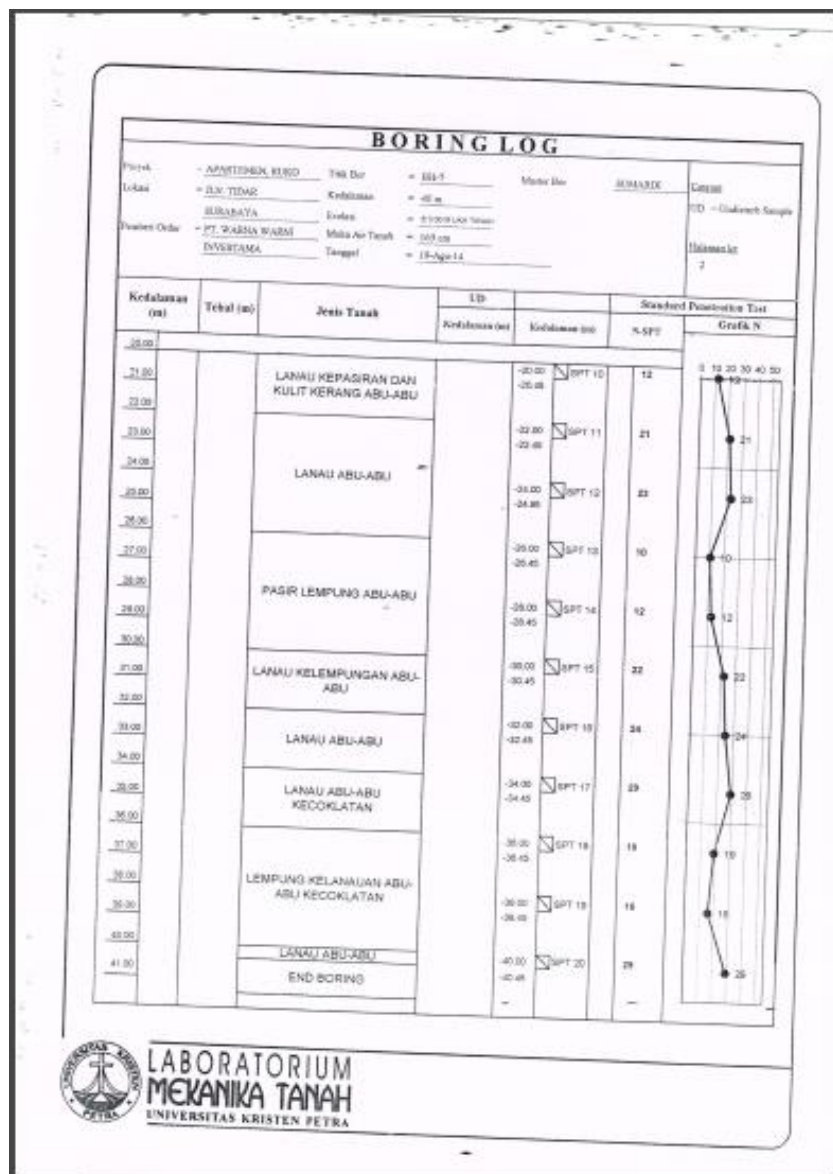
BORING LOG						
Proyek	- APARTEMEN BUKU	Tipe Dm	= 30cm	Metode Uji	STANDARD	Contoh
Lokasi	- R.M. DEKAR	Kedalaman	= 40 m			UD - Under 10 Sample
	BUBUNDA	Titik	= 21.00 W. dari Titik			
Perencanaan	- PT. BUNDA KAWAN	Metode	= 1.50 cm			
	INVESTASI	Tanggal	= 28-Agus-14			
						Skala 1:1
						2
Kedalaman (m)	Tekak (m)	Jenis Tanah	TD	Kedalaman (m)	Standard Penetration Test	Grain N
					N-SPT	
00.00						
01.00		PASIR KELAMAUAN ABU-ABU	-01.00	SPT 10	16	10
02.00			-02.00	SPT 11	18	18
03.00		LANAU DAN KULIT KERANG ABU-ABU	-03.00	SPT 12	11	11
04.00			-04.00	SPT 13	13	13
05.00		LANAU KEPASIRAN ABU-ABU	-05.00	SPT 14	26	26
06.00			-06.00	SPT 15	29	29
07.00		LANAU KELEMPUNGAN ABU-ABU KEOKLATAN	-07.00	SPT 16	24	24
08.00			-08.00	SPT 17	28	28
09.00		LANAU COKLAT KEABU-ABUAN	-09.00	SPT 18	23	23
10.00			-10.00	SPT 19	28	28
11.00		LANAU COKLAT	-11.00	SPT 20	31	31
12.00			-12.00			
13.00		LANAU ABU-ABU KEOKLATAN	-13.00			
14.00			-14.00			
15.00		LANAU COKLAT KEABU-ABUAN	-15.00			
16.00			-16.00			
17.00		END BORING	-17.00			



**LABORATORIUM  
MEKANIKA TANAH**  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA



**LABORATORIUM  
MEKANIKA TANAH**  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

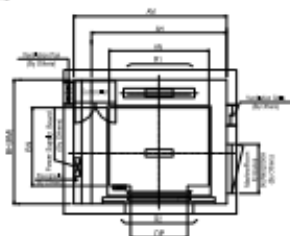


## **Lampiran B (Spesifikasi Lift)**

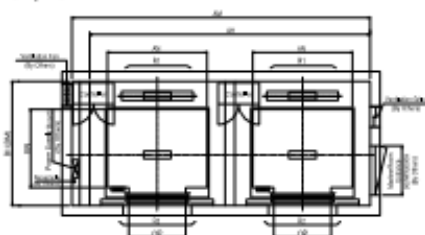
## Technical Data Passenger

### ● Hotway & Machine Room Plan

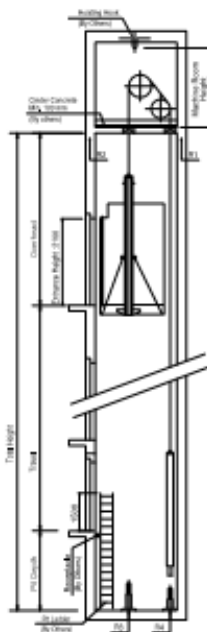
[Simple]



[Duplex]



### ● Hotway Section



### ● Overhead, Pit & Machine Room Height

Speed (m/s)	Load (kg)	Travel (m)	Overhead (mm)	Pit Depth (mm)	Machine Room Height (mm)	Hook Load (kg)
1.0	450 - 1000	TR < 100	4000	1400	2200	3000
	1150 - 1600		4300			4500
1.5	450 - 1000		4400	1450	2200	3000
	1150 - 1600					4500
1.75	450 - 1000		4500	1600	2200	3000
	1150 - 1600					4500

## Technical Data Passenger

## ● Layout Dimensions | Speed: 1.5, 1.75 m/s

[Standard]

(Unit: mm)

Speed (m/s)	Capacity Persons	Capacity Loadings	Entrance Opening (mm)	Car Size		Habitacle Size				Machine Room Size				Reaction Landing			
						Staircase		Ducting		Staircase		Ducting		R <sub>1</sub>		R <sub>2</sub>	
				W	D	W	D	W	D	W	D	W	D	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
1.5 ~ 1.75	8	570	800	1000	1000	1000	1000	1750	1750	1000	1000	1750	1750	1000	1000	1750	1000
	9	620	800	1000	1100	1000	1750	1750	1750	1000	1750	1750	1750	1000	1100	1750	1000
	10	650	800	1000	1250	1000	1900	1750	1750	1000	1900	1750	1900	1000	1300	1900	1000
	11	750	800	1000	1350	1000	2000	1750	2000	1000	2000	1750	2000	1250	1400	2000	1100
	12	900	900	1000	1500	1000	2000	1950	2000	1000	2000	1950	2000	1250	1600	2000	1200
	13	1000	900	1000	1600	2000	2150	1950	2150	1000	2150	1950	2150	1400	1800	2150	1300
	17	1150	1000	1000	1800	2100	2300	1950	2300	1300	2300	1950	2300	1600	2150	2300	1400
	20	1350	1000	1000	1900	2100	2400	1950	2400	1300	2400	1950	2400	1600	2300	2400	1500
	25	1600	1100	1000	2000	2100	2500	1950	2500	1300	2500	1950	2500	1600	2500	2500	1600
	25	1600	1100	1000	2100	2000	2600	2000	2600	1300	2600	2000	2600	1600	2600	2600	1700

[EN Code]

1.5 ~ 1.75	7	575	800	1100	1000	1000	1750	1750	1000	1000	1750	1750	1000	1000	1750	1000	
	8	600	800	1100	1100	1000	1750	1750	1750	1000	1750	1750	1750	1000	1100	1750	1000
	9	600	800	1100	1250	1000	1900	1750	1900	1000	1900	1750	1900	1000	1300	1900	1000
	10	600	800	1100	1350	1000	2000	1750	2000	1000	2000	1750	2000	1250	1400	2000	1100
	12	900	900	1000	1500	1000	2000	1950	2000	1000	2000	1950	2000	1250	1600	2000	1200
	13	1000	900	1000	1600	2000	2150	1950	2150	1000	2150	1950	2150	1400	1800	2150	1300
	15	1150	1000	1000	1800	2100	2300	1950	2300	1300	2300	1950	2300	1600	2150	2300	1400
	18	1350	1000	1000	1900	2100	2400	1950	2400	1300	2400	1950	2400	1600	2300	2400	1500
	20	1500	1000	1000	2000	2100	2500	1950	2500	1300	2500	1950	2500	1600	2500	2500	1600
	25	1600	1100	1000	2100	2000	2600	2000	2600	1300	2600	2000	2600	1600	2600	2600	1700

[Malaysia]

1.5 ~ 1.75	8	575	800	1100	1000	1000	1750	1750	1000	1000	1750	1750	1000	1000	1750	1000
	9	620	800	1100	1100	1000	1750	1750	1000	1000	1750	1750	1000	1000	1750	1000
	10	650	800	1100	1250	1000	1900	1750	1900	1000	1900	1750	1900	1000	1300	1900
	11	750	800	1100	1350	1000	2000	1750	2000	1000	2000	1750	2000	1250	1400	2000
	12	900	900	1000	1500	1000	2000	1950	2000	1000	2000	1950	2000	1250	1600	2000
	13	1000	900	1000	1600	2000	2150	1950	2150	1000	2150	1950	2150	1400	1800	2150
	15	1150	1000	1000	1800	2100	2300	1950	2300	1300	2300	1950	2300	1600	2150	2300
	18	1350	1000	1000	1900	2100	2400	1950	2400	1300	2400	1950	2400	1600	2300	2400
	20	1500	1000	1000	2000	2100	2500	1950	2500	1300	2500	1950	2500	1600	2500	2500
	25	1600	1100	1000	2100	2000	2600	2000	2600	1300	2600	2000	2600	1600	2600	2600

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**Lampiran C (Material – Manual Extract)**

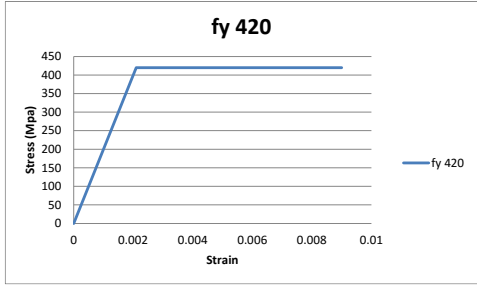
Berikut ini akan diuraikan secara singkat perhitungan regangan – tegangan untuk material baja tulangan dan beton bertulang. Hasil perhitungan bisa digunakan sebagai *input* material pada program Extract.

- Baja tulangan  
Karena nilai  $f_y = 420$  Mpa dan nilai  $f_u$  tidak diketahui, maka analisa regangan – tegangan menggunakan analisa *BiLinier*. Dengan rumus mencari regangan adalah:  
$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, E_s = 200000 \text{ Mpa, nilai } f_y \text{ dianggap konstan } 420 \text{ Mpa}$$
  
dan nilai  $\epsilon_y$  diasumsikan dengan *range* 0 – 0,009. Maka didapat hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel C.1 dan Gambar C.1 berikut ini:

**Tabel C.1 Hubungan regangan – tegangan tulangan baja**

<b><math>f_y = 420 \text{ Mpa}</math></b>	
<i>strain</i>	<i>stress</i>
0	0
0,0021	420
0,0030	420
0,0040	420
0,0050	420
0,0060	420
0,0070	420
0,0080	420
0,0090	420

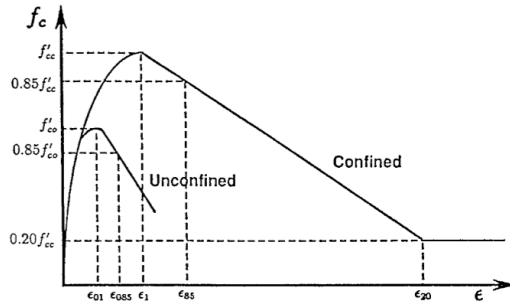
Dari Tabel C.1 diatas, hubungan regangan – tegangan dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar dibawah ini:



**Gambar C.1 Grafik hubungan regangan – tegangan baja**

- Beton *unconfined* & *confined*

Contoh grafik hubungan regangan – tegangan dapat dilihat pada Gambar C.2 dibawah ini:



**Gambar C.2 Contoh grafik hubungan regangan – tegangan beton**

Dengan rumus umum:

$$f'_{co} \text{ (Unconfined)} = 50 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_{01} = 0,0028 - 0,008 \cdot k_3$$

$$\varepsilon_{085} = \varepsilon_{01} + 0,0081 \cdot k_3^2$$

$$f'_{cc} \text{ (Confined)} = f'_{co} + k_1 \cdot f_{le}$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{01} (1 + 5k_3 \cdot K)$$

$$\varepsilon_{85} = 260 \cdot k_3 \cdot \rho_c \cdot \varepsilon_1 [1 + 0,5k_2(k_4 - 1)] + \varepsilon_{085}$$

Dimana rumus – rumus secara detail dapat dilihat pada jurnal Razvi, S., & Saatcioglu, M. (1999).

Sehingga didapat nilai regangan yang disajikan Tabel C.2 berikut:

**Tabel C.2 Regangan beton**

$f'_{co}$	$E_c$	$\varepsilon_{01}$	$\varepsilon_{085}$
50	33234,02	0,00216	0,003312
$f'_{cc}$	$E_c$	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_{85}$
60,1775	32654,63	0,003919	0,006524

Kemudian untuk mengetahui hubungan regangan tegangan, menggunakan rumus berikut:

$$f'_{co} = f'_{co} \left\{ \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right\}$$

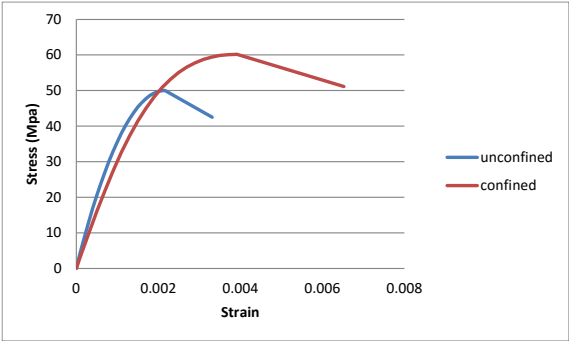
$$f'_{cc} = \frac{f'_{cc} \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_1} \right)^r}{r-1 + \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_1} \right)^r}$$

Dengan mengasumsikan nilai regangan, maka didapat hubungan regangan – tegangan sebagaimana yang tersaji pada Tabel C.3 dibawah ini:

**Tabel C.3 Hubungan regangan - tegangan beton**

<b>f<sub>c</sub> = 50 Mpa</b>		<b>f<sub>c</sub> = 60,18 Mpa</b>	
<i>strain</i>	<i>stress</i>	<i>strain</i>	<i>stress</i>
0	0	0	0
0,0001	4,522	0,0001	3,262
0,0003	12,924	0,0005	15,959
0,0005	20,469	0,0009	27,464
0,0007	27,156	0,0013	37,228
0,0009	31,986	0,0017	45,029
0,0011	37,959	0,0021	50,911
0,0013	42,074	0,0025	55,078
0,0015	45,332	0,0029	57,809
0,0017	47,732	0,0033	59,392
0,0019	49,726	0,0035	59,837
0,0020	49,726	0,0037	60,894
0,0021	49,961	0,00392	60,1775
0,00216	50,000	0,00652	51,151
0,00331	42,500		

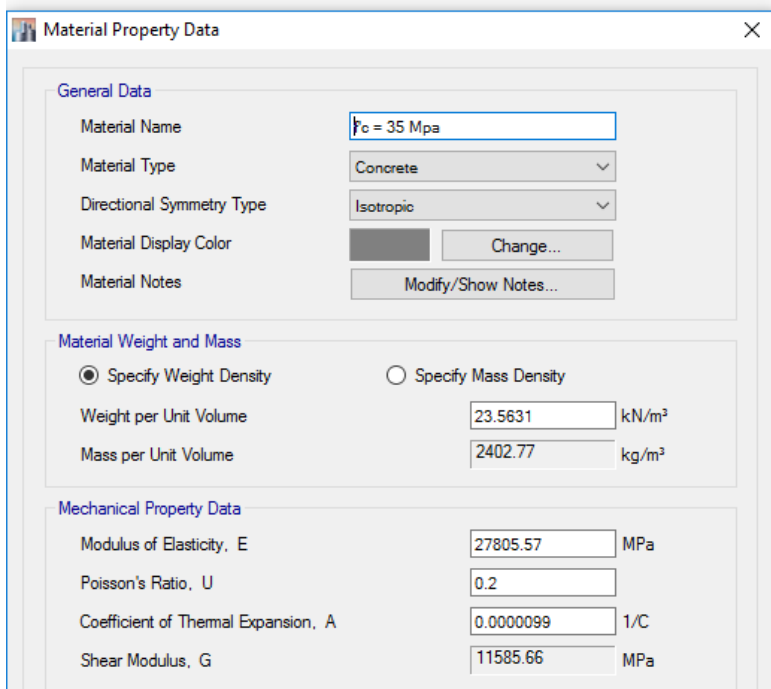
Dari Tabel C.3 maka didapat grafik seperti pada Gambar C.3 dibawah ini:



**Gambar C.3 Grafik hubungan regangan – tegangan beton**

**Lampiran D (Pemodelan Outrigger & Belt-truss)**

Berikut ini akan dijelaskan secara singkat bagaimana memodelkan balok *outrigger* dan *belt-truss*. Program bantu yang digunakan adalah ETABS. Pada dasarnya pada Tugas Akhir ini balok *outrigger* dan *belt-truss* sama – sama didesain menggunakan balok tinggi. Tidak seperti balok biasanya yang menggunakan *frame*, untuk memodelkan balok tinggi menggunakan *shell* agar memudahkan tata letaknya. Material property dan section property yang digunakan seperti pada Gambar D.1 dan D.2.



Material Property Data	
<b>General Data</b>	
Material Name	$f_c = 35 \text{ Mpa}$
Material Type	Concrete
Directional Symmetry Type	Isotropic
Material Display Color	Change...
Material Notes	Modify/Show Notes...
<b>Material Weight and Mass</b>	
<input checked="" type="radio"/> Specify Weight Density	<input type="radio"/> Specify Mass Density
Weight per Unit Volume	23.5631 kN/m³
Mass per Unit Volume	2402.77 kg/m³
<b>Mechanical Property Data</b>	
Modulus of Elasticity, E	27805.57 MPa
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099 1/C
Shear Modulus, G	11585.66 MPa

**Gambar D.1 Material property**

**Wall Property Data**

**General Data**

Property Name: Outrigger 1

Property Type: Specified

Wall Material:  $f_c = 35$  Mpa

Modeling Type: Shell-Thick

Modifiers (Currently User Specified): Modify/Show...

Display Color: [Blue] Change...

Property Notes: Modify/Show...

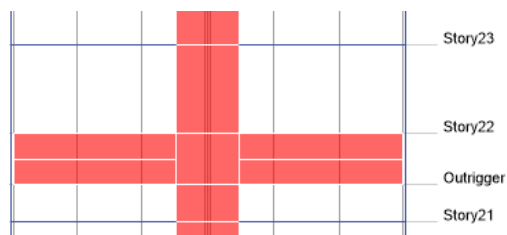
**Property Data**

Thickness: 400 mm

OK Cancel

**Gambar D.2 Section property**

Balok tinggi dengan dimensi 400 x 2000 mm ini membentang antara kolom dan *shearwall* yang berperan sebagai *outrigger*, dan membentang mengelilingi kolom luar berperan sebagai *belt-truss*. Contoh pemodelan *outrigger* dan *belt-truss* Gambar D.3, Gambar D.4, dan Gambar D.5 berikut:

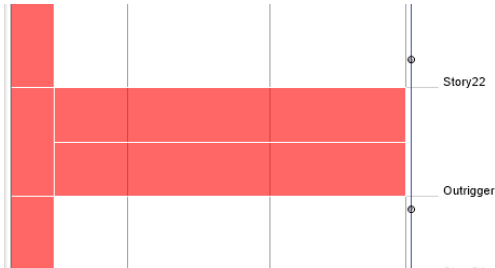


**Gambar D.3 Contoh pemodelan *outrigger***





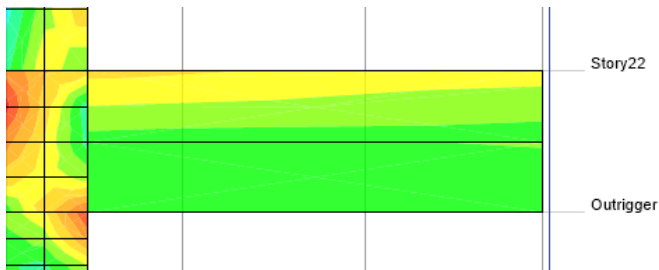
Tahap pertama adalah pilih kolom yang akan di-*release*. Kemudian sesuai gambar D.4 pilih *Assign* → *Frame* → *Release* → Pilih momen 22/33 sesuai kebutuhan. Setelah di-*release* akan muncul tanda seperti pada gambar D.7 di bawah ini:



**Gambar D.7 Kolom yang sudah di-*release***

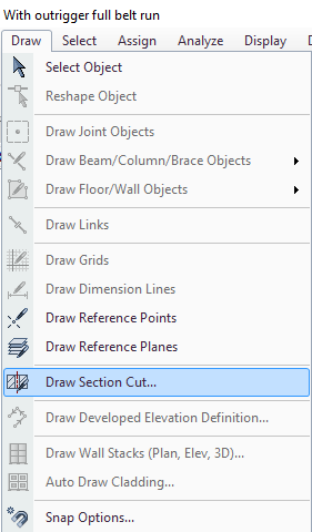
Tanda bulat seperti yang dapat dilihat pada gambar D.6 di atas menunjukkan daerah kolom yang di-*release*. Pada bagian itu kolom berperilaku sebagai sendi.

Yang tidak kalah penting adalah menampilkan gaya dalam balok tinggi. Beda dengan balok biasa, karena menggunakan elemen *shell* maka cara menampilkan gaya dalam balok tinggi adalah menggunakan *section cut*. Berikut ini adalah cara dari menggunakan *section cut*:



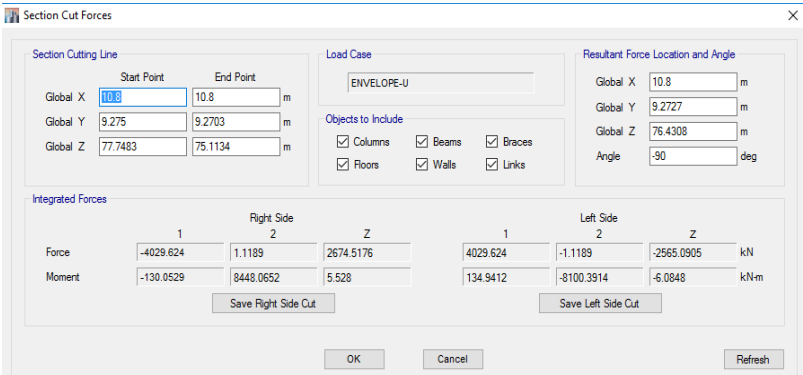
**Gambar D.8 Tampilan momen balok tinggi (1,2D+1L+RSPX)**

Setelah menampilkan momen seperti gambar D.7, tahap selanjutnya adalah melakukan *section cut* terhadap elemen yang ditinjau. Caranya seperti yang ditunjukkan gambar D.8 berikut:



**Gambar D.9** Pilihan menu untuk *section cut*

Pilih area yang akan ditinjau kemudian gambar area *section cut* hingga muncul besaran gaya dalam seperti pada gambar D.9 di bawah ini:



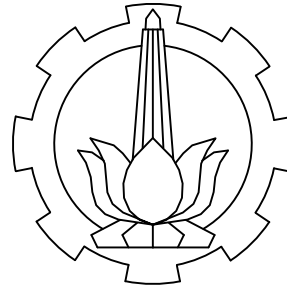
**Gambar D.10** Output gaya dalam balok tinggi

Dari gambar D.9 di atas maka gaya dalam dapat digunakan sesuai kebutuhan untuk mendesain tulangan balok tinggi.

### **Lampiran E (Gambar Desain)**

# GAMBAR PERENCANAAN

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN SISTEM *OUTRIGGER* DAN *BELT-TRUSS*



OLEH:  
FAUZAN KURNIANTO  
NRP: 3115 105 050

PEMBIMBING 1:  
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
NIP: 19630605 198903 1 004

PEMBIMBING 2:  
Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP: 19700327 199702 1 001

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
SURABAYA

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
*OUTRIGGER DAN BELT TRUSS*

## DOSEN PEMBIMBING

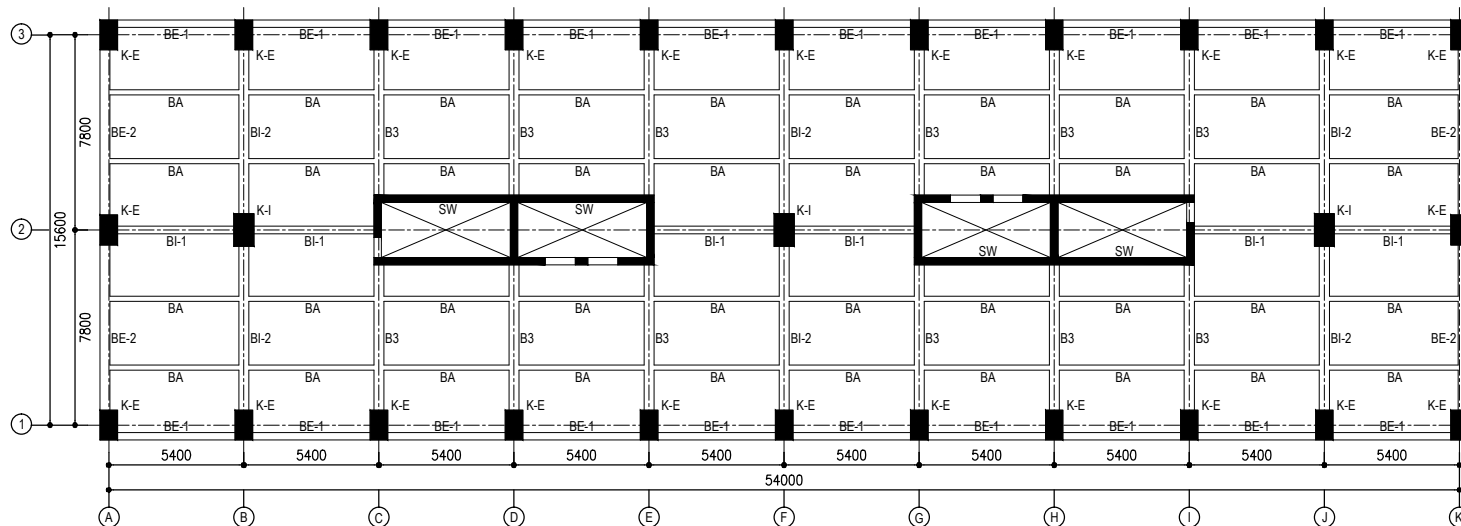
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN



**DENAH BALOK - KOLOM LT.1**  
 1 : 300

## JUDUL GAMBAR

## SKALA

- DENAH BALOK-KOLOM LT.1 - 1 : 300

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

## JML. GAMBAR

1

24

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
*OUTRIGGER DAN BELT TRUSS*

## DOSEN PEMBIMBING

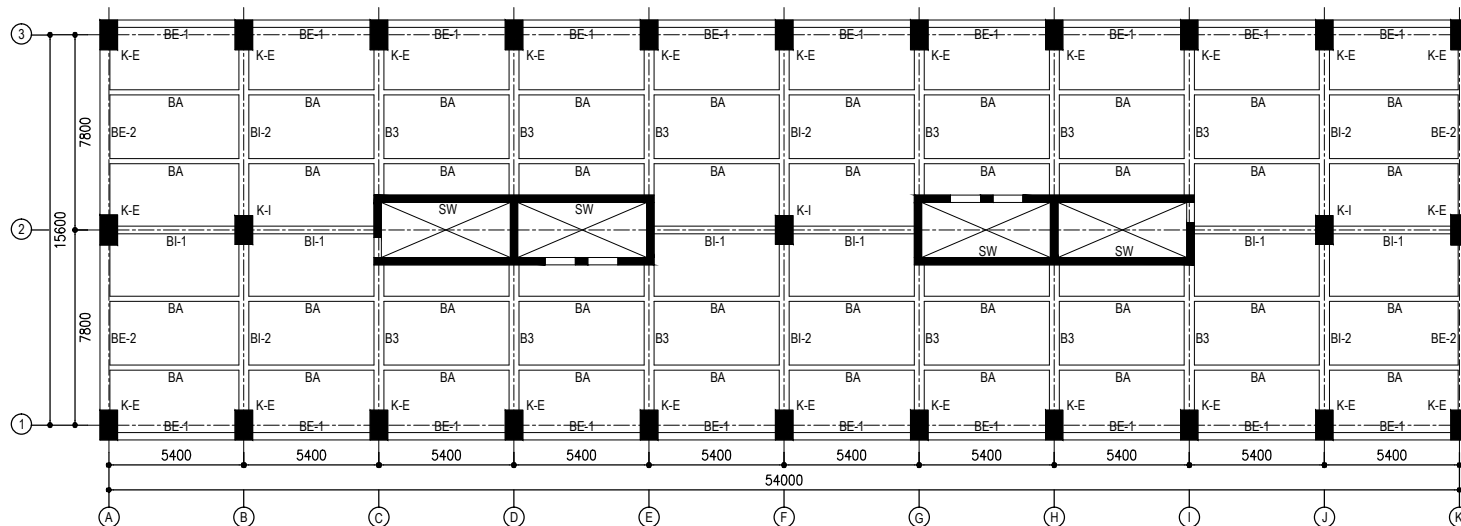
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN



**DENAH BALOK - KOLOM LT.2-8**  
 1 : 300

## JUDUL GAMBAR

## SKALA

- DENAH BALOK-KOLOM  
 LT.2-8

- 1 : 300

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

2

## JML. GAMBAR

24

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
*OUTRIGGER DAN BELT TRUSS*

## DOSEN PEMBIMBING

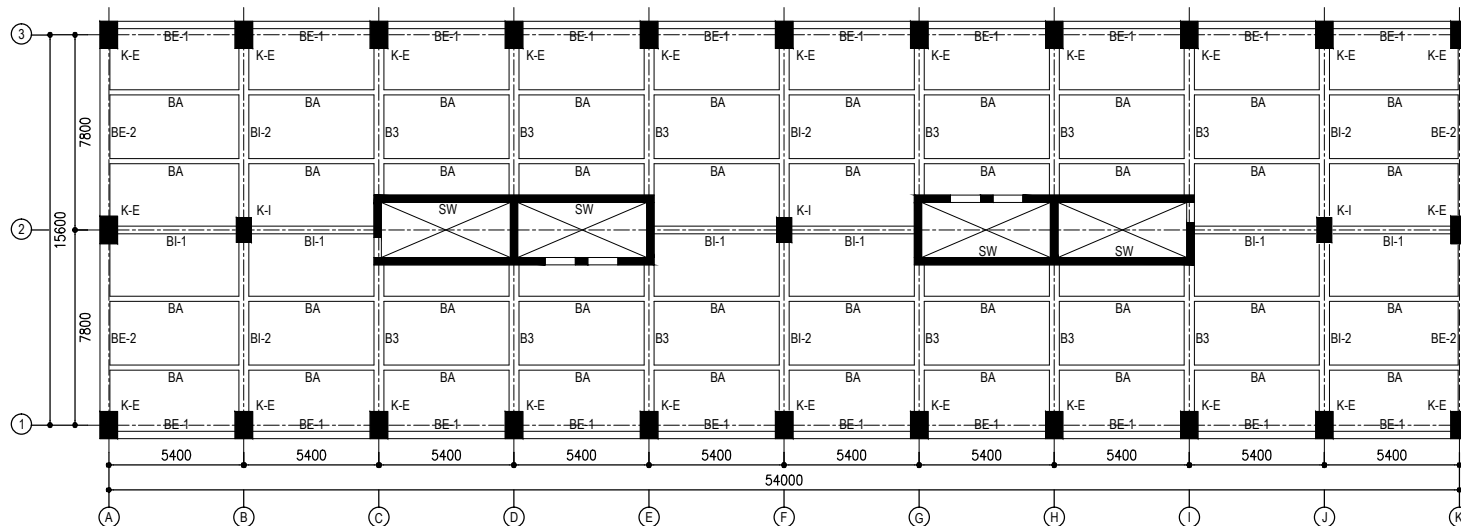
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

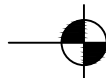
Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN




**DENAH BALOK - KOLOM LT.9-15**  
 1 : 300

## JUDUL GAMBAR

- DENAH BALOK-KOLOM  
LT.9-15

## SKALA

- 1 : 300

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

3

## JML. GAMBAR

24

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
*OUTRIGGER* DAN *BELT TRUSS*

## DOSEN PEMBIMBING

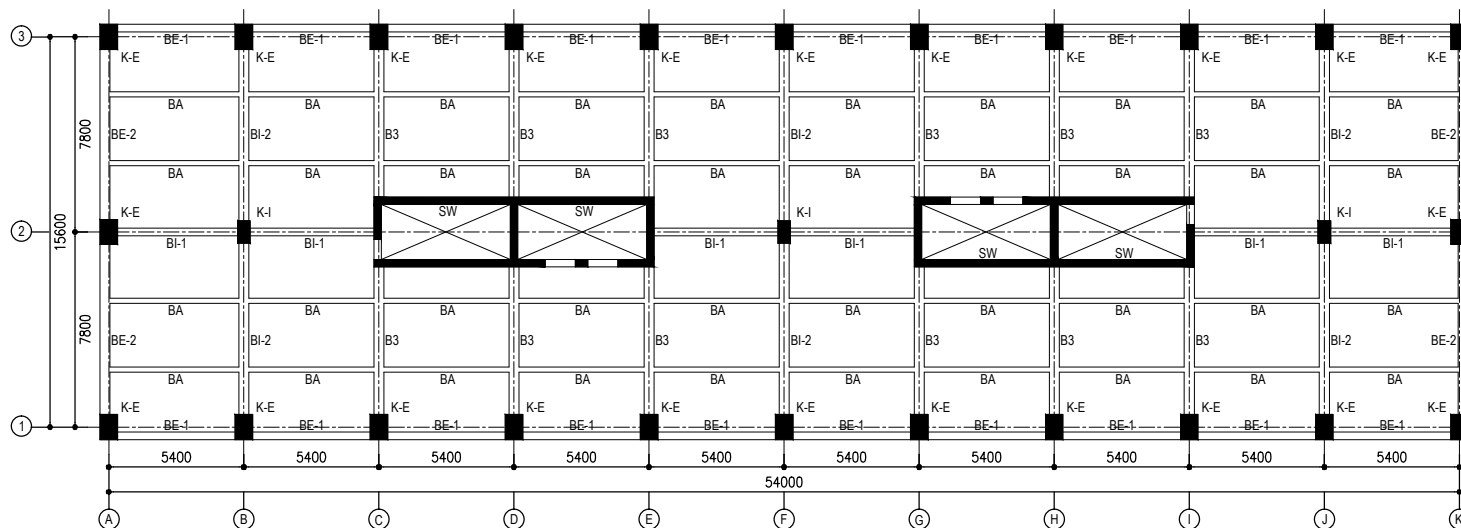
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN



**DENAH BALOK - KOLOM LT.16-21**  
 1 : 300

## JUDUL GAMBAR

## SKALA

- DENAH BALOK-KOLOM  
 LT.16-22

- 1 : 300

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

## JML. GAMBAR

4

24



## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
 OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

## DOSEN PEMBIMBING

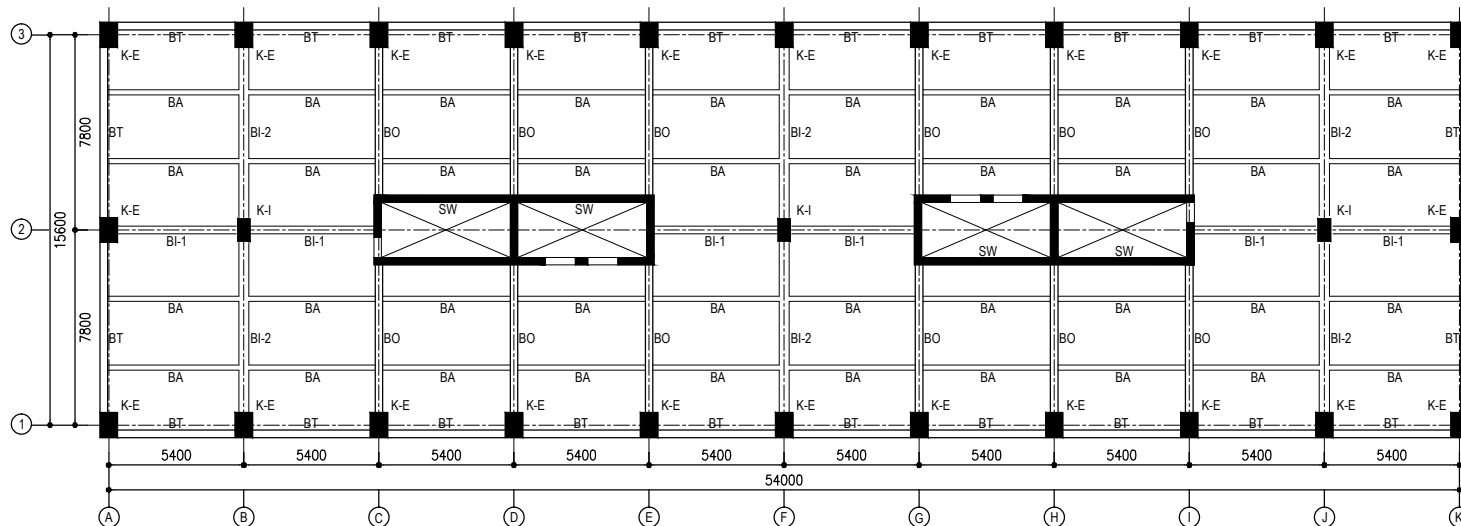
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN



**DENAH BALOK - KOLOM LT. OUTRIGGER**  
 1 : 300

## JUDUL GAMBAR

## SKALA

- DENAH BALOK-KOLOM  
 LT.16-22

- 1 : 300

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

## JML. GAMBAR

5

24

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
*OUTRIGGER* DAN *BELT TRUSS*

## DOSEN PEMBIMBING

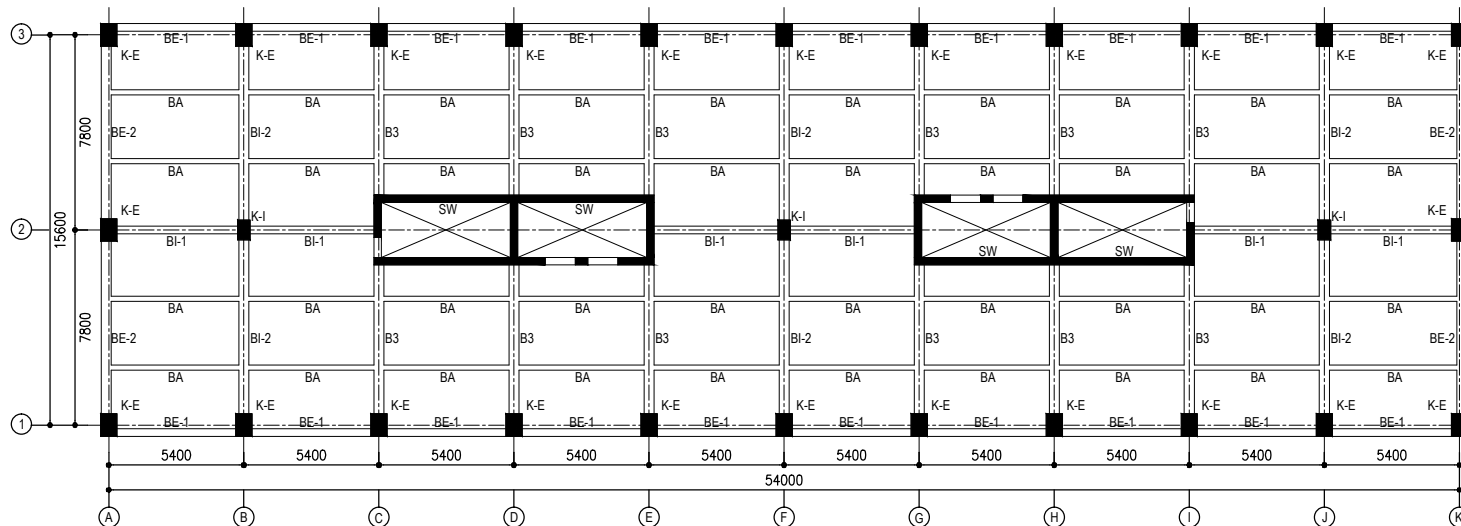
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

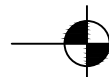
Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN




**DENAH BALOK - KOLOM LT.23-29**  
 1 : 300

## JUDUL GAMBAR

- DENAH BALOK-KOLOM  
 LT.23-29

## SKALA

- 1 : 300

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

6

## JML. GAMBAR

24

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
 OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

## DOSEN PEMBIMBING

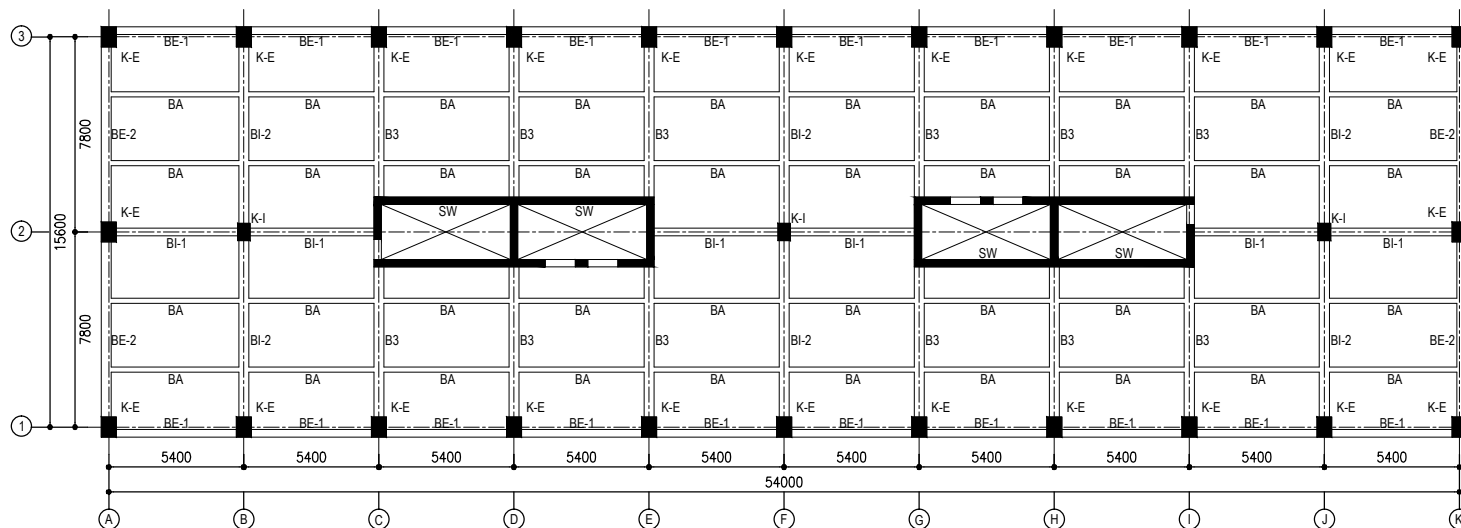
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN



**DENAH BALOK - KOLOM LT.30-36**  
 1 : 300

## JUDUL GAMBAR

- DENAH BALOK-KOLOM  
 LT.30-36

## SKALA

- 1 : 300

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

7

## JML. GAMBAR

24

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
*OUTRIGGER DAN BELT TRUSS*

## DOSEN PEMBIMBING

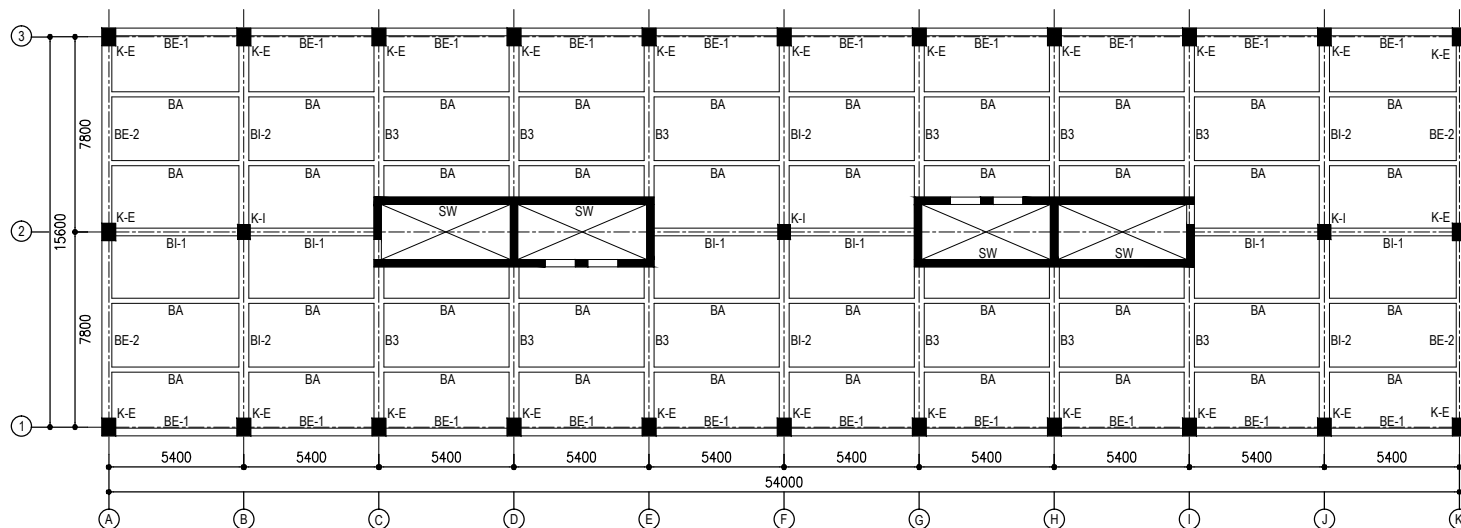
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004


Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN




**DENAH BALOK - KOLOM LT.37-43**  
 1 : 300

## JUDUL GAMBAR

## SKALA

- DENAH BALOK-KOLOM  
 LT.37-43

- 1 : 300

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

8

## JML. GAMBAR

24

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
*OUTRIGGER DAN BELT TRUSS*

## DOSEN PEMBIMBING

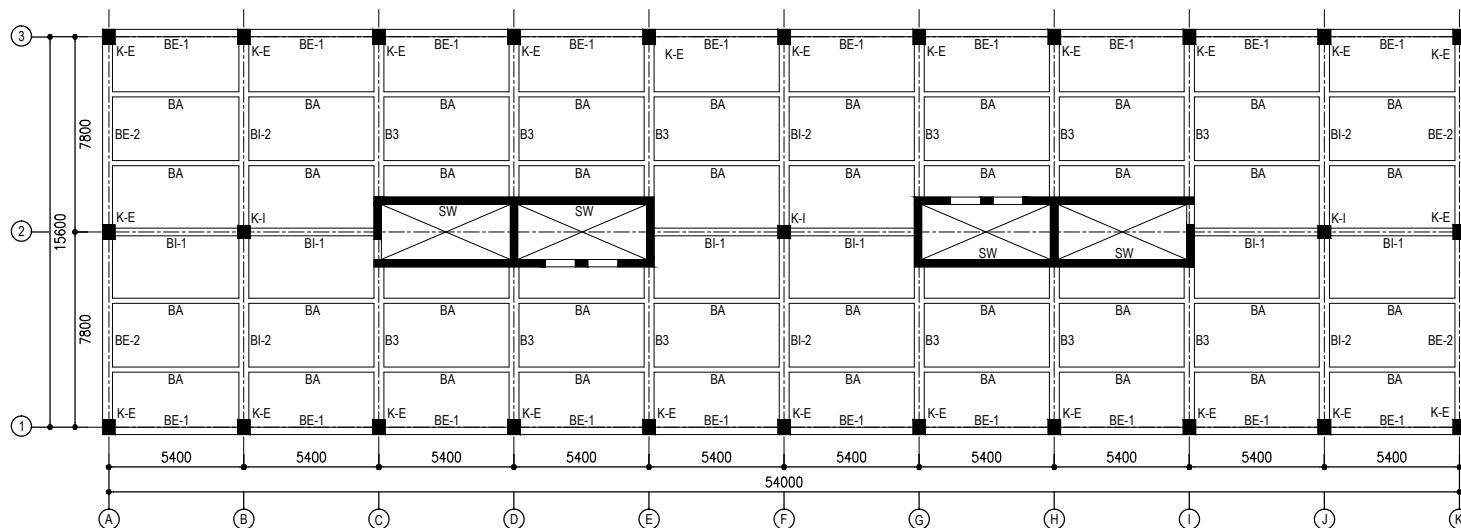
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN



**DENAH BALOK - KOLOM LT.44-50**  
 1 : 300

## JUDUL GAMBAR

- DENAH BALOK-KOLOM  
 LT.44-50

## SKALA

- 1 : 300

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

9

## JML. GAMBAR

24

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
NIP: 19630605 198903 1 004

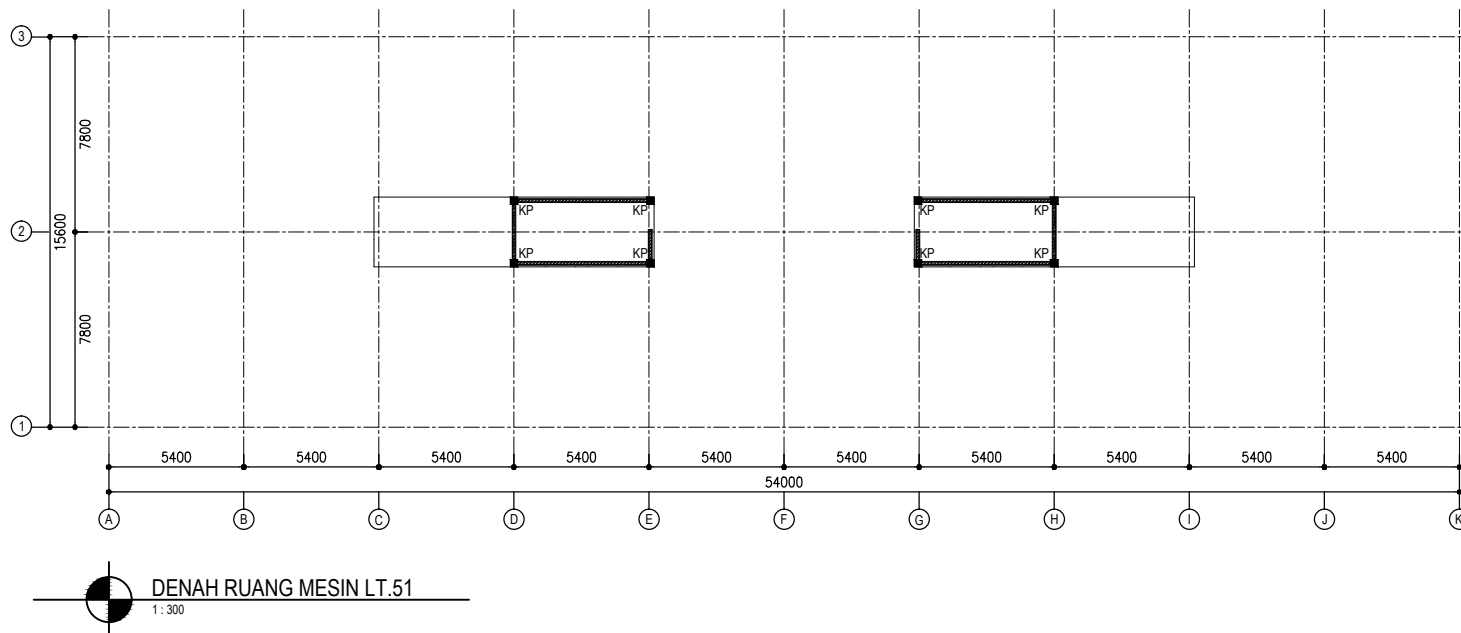
Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP: 19700327 199702 1 001

MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
NRP: 3115 105 050

CATATAN

JUDUL GAMBAR	SKALA
- DENAH RUANG MESIN LT.51	- 1 : 300
KODE GAMBAR	
STR	
NO. LEMBAR	JML. GAMBAR
10	24



## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

## DOSEN PEMBIMBING

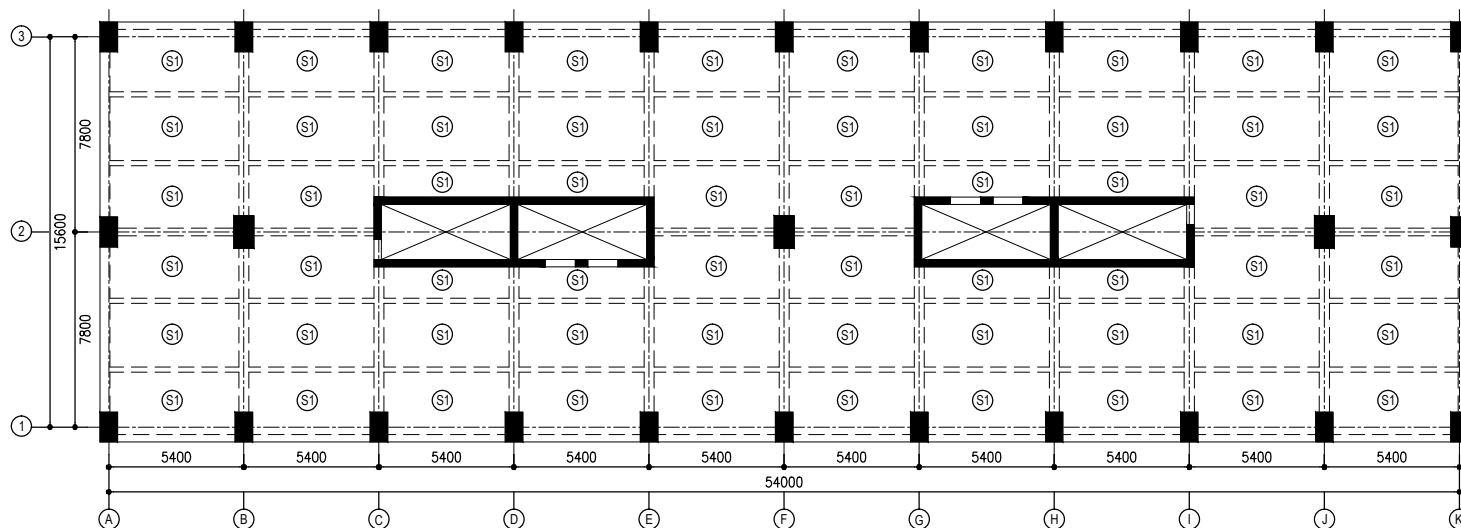
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
NRP: 3115 105 050

## CATATAN



DENAH PELAT LT. 1-49 (TIPIKAL)  
1 : 300

## JUDUL GAMBAR

## SKALA

- DENAH PELAT LT. 1-49  
(TIPIKAL)

- 1 : 300

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

## JML. GAMBAR

11

24

**JUDUL TUGAS AKHIR**

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
*OUTRIGGER DAN BELT TRUSS*

**DOSEN PEMBIMBING**

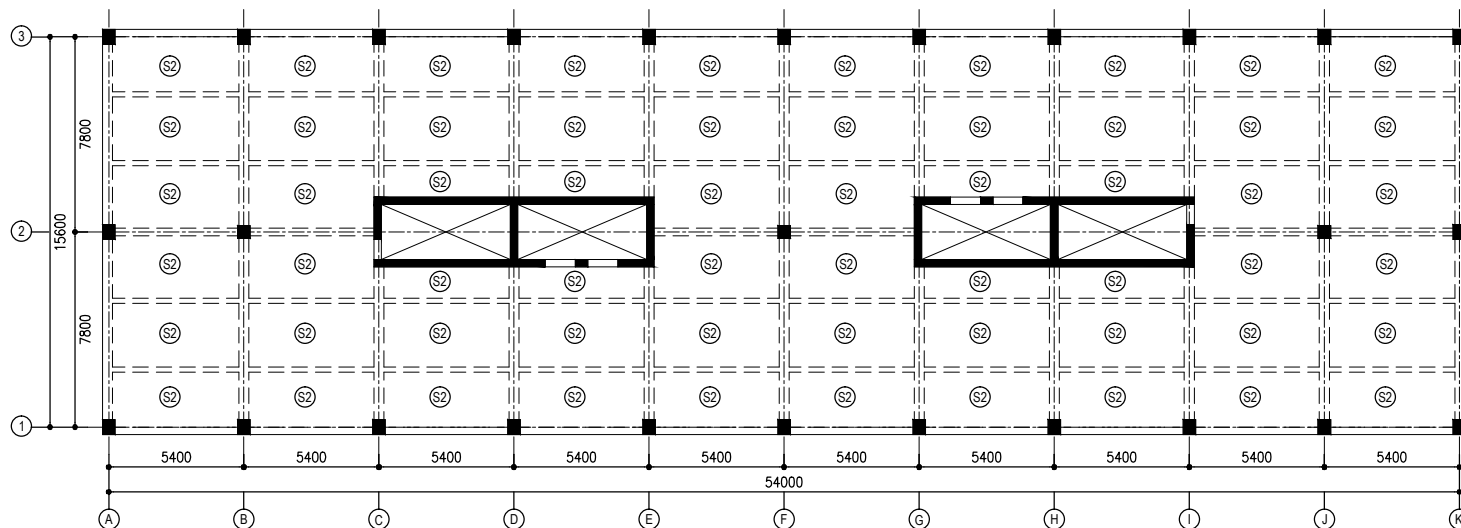
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004  
 Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

**MAHASISWA**

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

**CATATAN**

JUDUL GAMBAR	SKALA
- DENAH PELAT LT.50 (ATAP)	- 1 : 300
KODE GAMBAR	
STR	
NO. LEMBAR	JML. GAMBAR
12	24



**DENAH PELAT LT.50 (ATAP)**  
 1 : 300





# DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN SISTEM OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP: 19700327 199702 1 001

FAUZAN KURNIANTO  
NRP: 3115 105 050

JUDUL GAMBAR	SKALA
- TAMPAKMELINTANG	- 1 : 1000
- POTONGAN MELINTANG	- 1 : 1000

## STR

**JML. GAMBAR**

24



## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

## DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
NRP: 3115 105 050

## CATATAN

JUDUL GAMBAR	SKALA
--------------	-------

- TAMPAK MEMANJANG	- 1 : 1000
- POTONGAN MELINTANG	- 1 : 1000

## KODE GAMBAR

STR

NO. LEMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

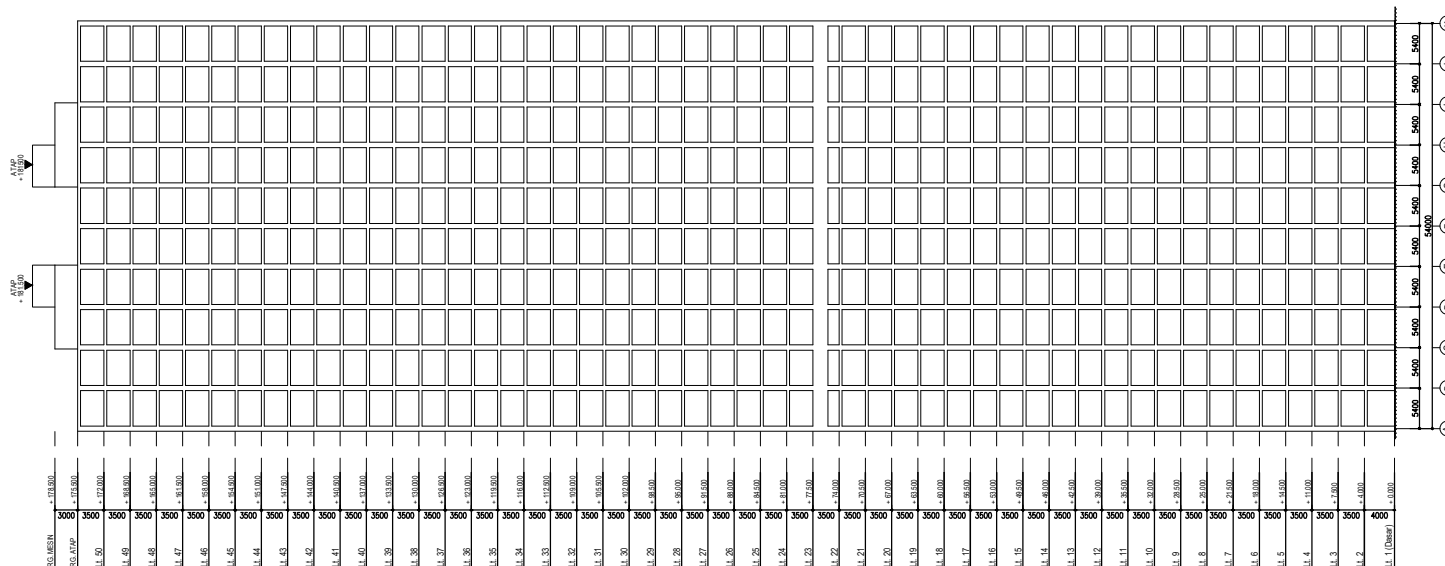
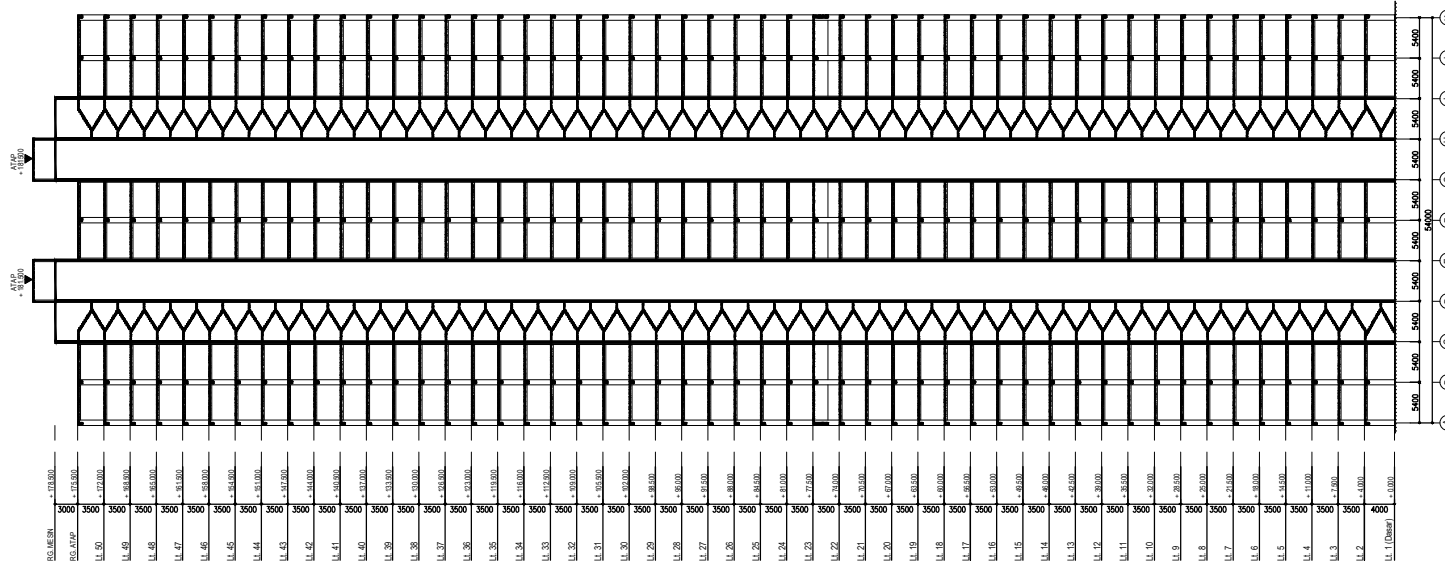
14

24

POTONGAN MEMANJANG  
1:1000



TAMPAK MEMANJANG  
1:1000



## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
 OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

## DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN

## JUDUL GAMBAR

## SKALA

- DETAIL TULANGAN PELAT TYPE S1 - 1 : 50
- DETAIL TULANGAN POT. A-A - 1 : 50
- DETAIL TULANGAN POT. B-B - 1 : 50

## KODE GAMBAR

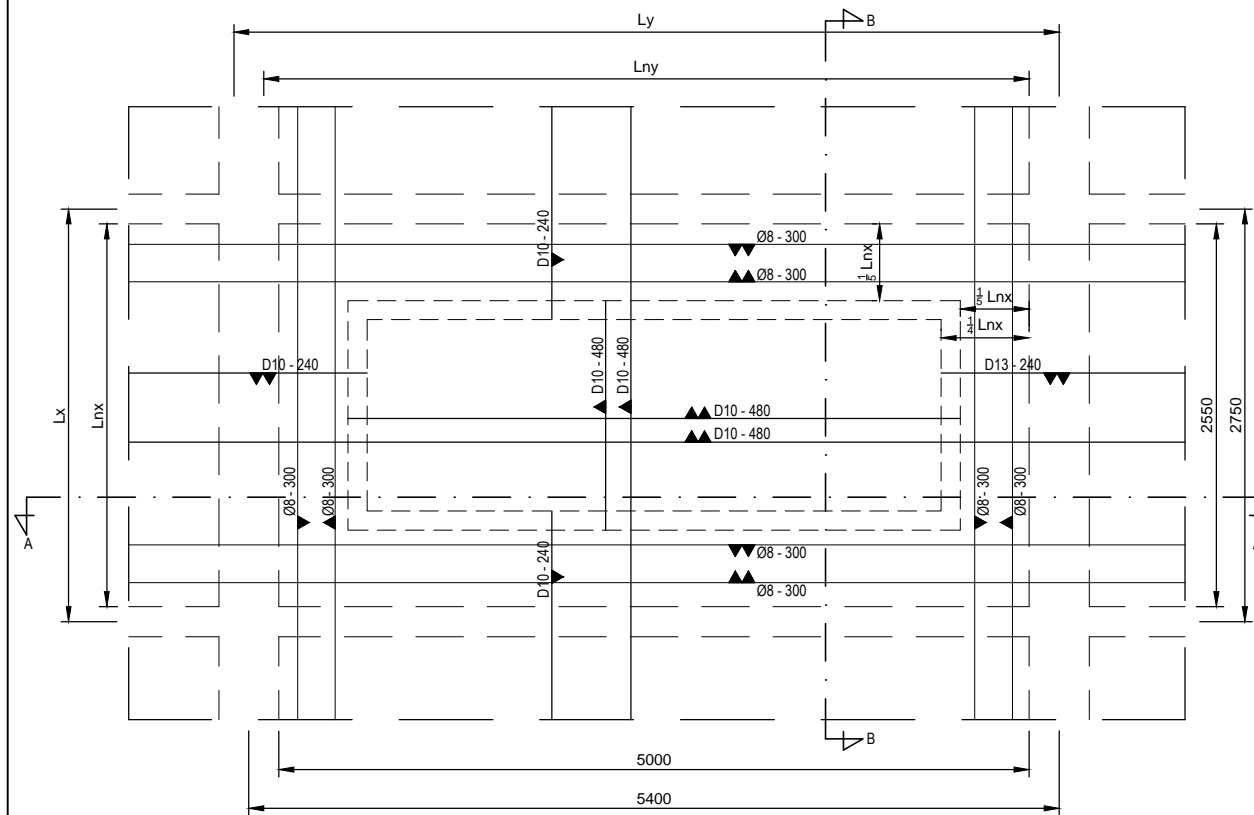
STR

## NO. LEMBAR

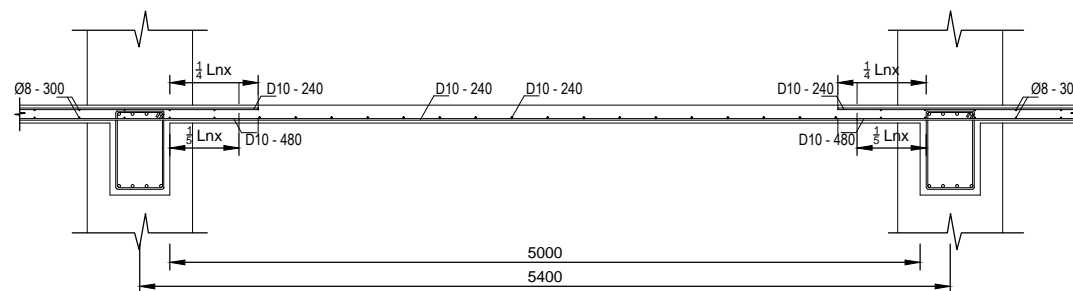
## JML. GAMBAR

15

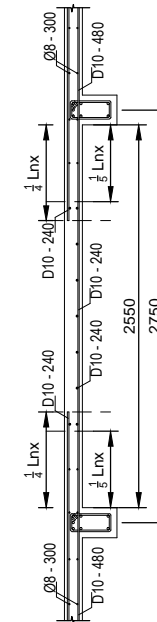
24



DETAIL TULANGAN PELAT TYPE S1  
 1 : 50



DETAIL TULANGAN POT. A-A  
 1 : 50



DETAIL TULANGAN POT. B-B  
 1 : 50

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
 OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

## DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN

## JUDUL GAMBAR      SKALA

- DETAIL TULANGAN PELAT TYPE S1	- 1 : 50
- DETAIL TULANGAN POT. A-A	- 1 : 50
- DETAIL TULANGAN POT. B-B	- 1 : 50

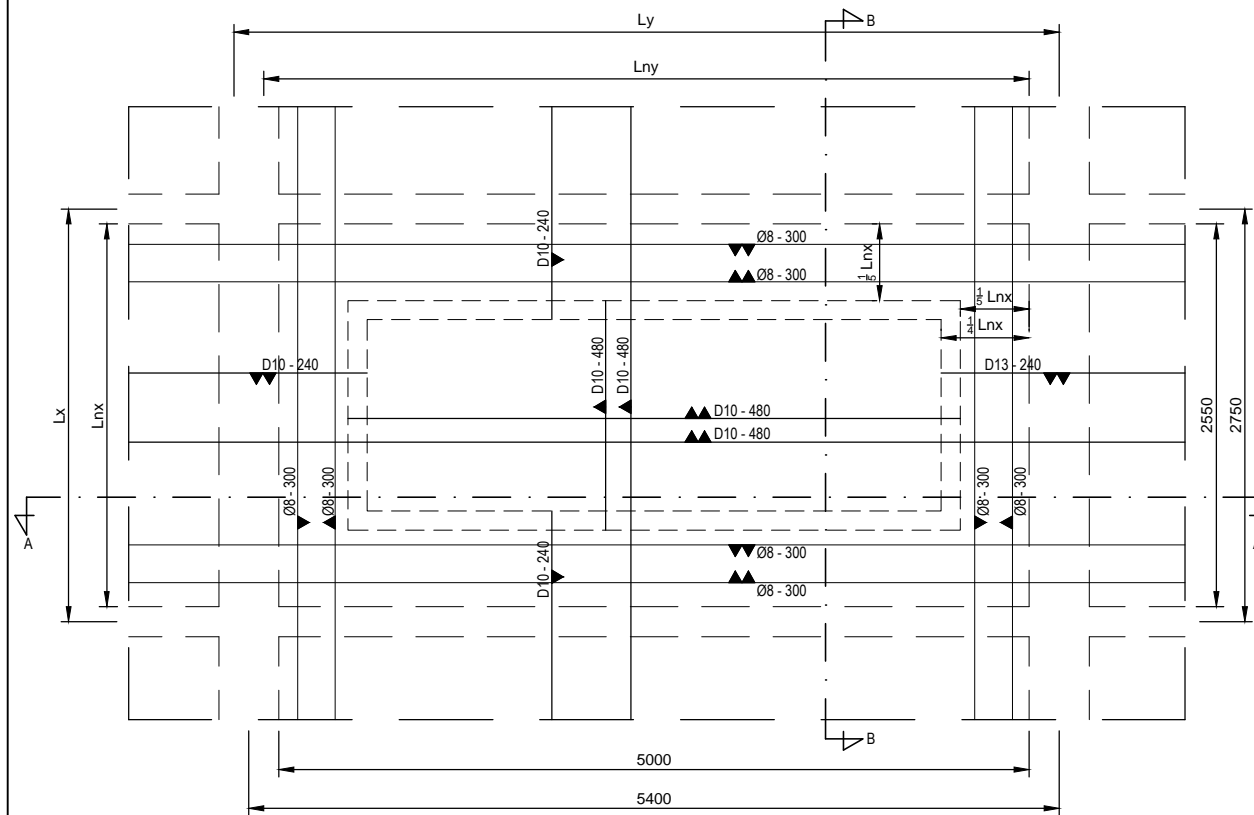
## KODE GAMBAR

STR

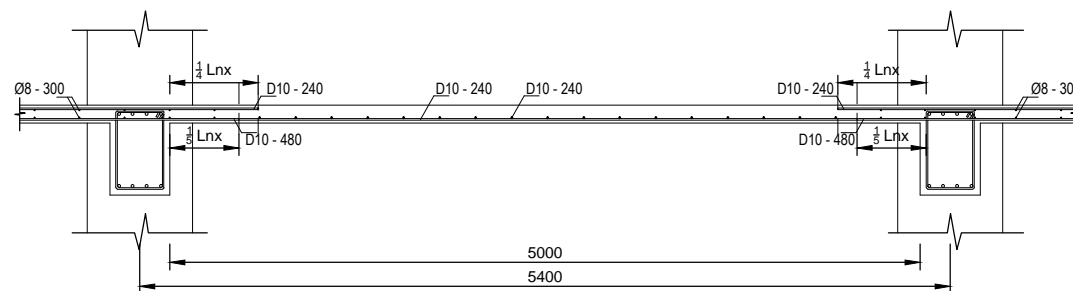
## NO. LEMBAR      JML. GAMBAR

16

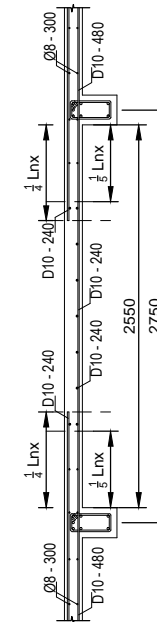
24



DETAIL TULANGAN PELAT TYPE S2  
 1 : 50



DETAIL TULANGAN POT. A-A  
 1 : 50



DETAIL TULANGAN POT. B-B  
 1 : 50

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

## DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
NRP: 3115 105 050

## CATATAN

JUDUL GAMBAR	SKALA
- DETAIL TULANGAN TANGGA	- 1 : 50
- DETAIL POT. A-A	- 1 : 50
- DETAIL TITIK (A)	- 1 : 10
- DETAIL TITIK (B)	- 1 : 10
- DETAIL TITIK (C)	- 1 : 10

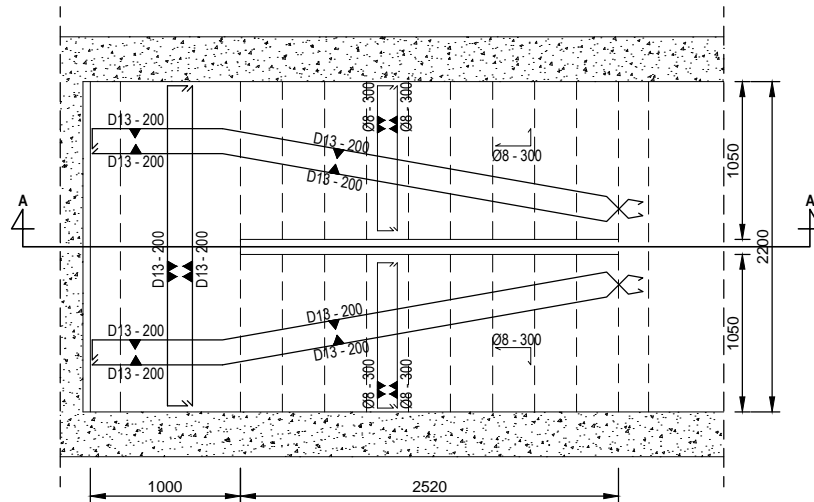
## KODE GAMBAR

STR

NO. LEMBAR	JML. GAMBAR
------------	-------------

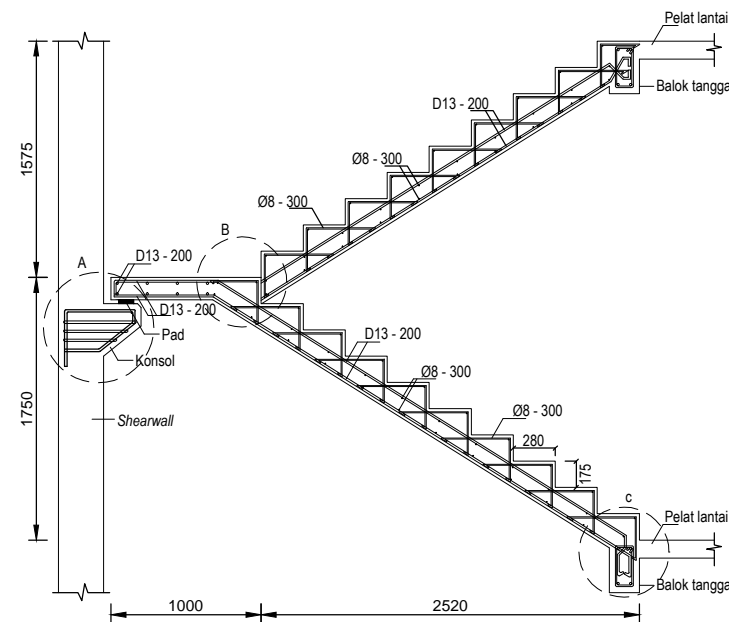
17

24



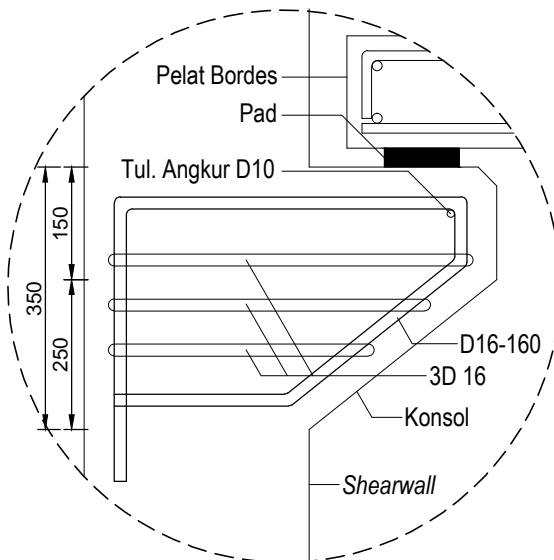
DETAIL TULANGAN TANGGA

1 : 50



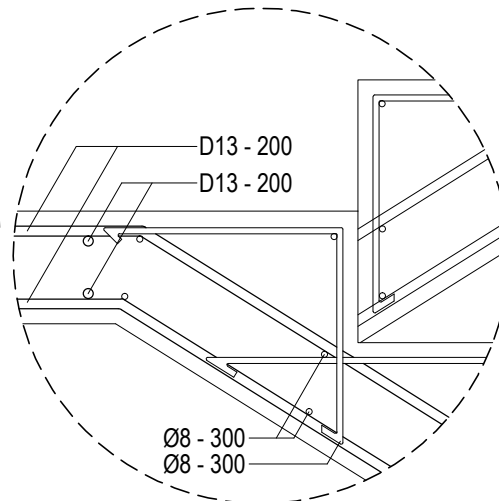
DETAIL POT. A-A

1 : 50



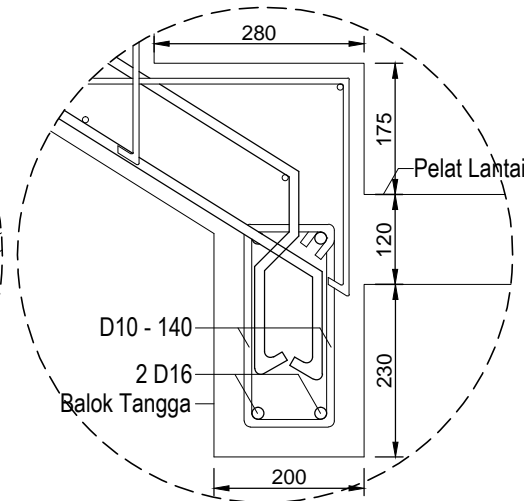
DETAIL TITIK (A)

1 : 10



DETAIL TITIK (B)

1 : 10



DETAIL TITIK (C)

1 : 10

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
 OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

## DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN

## JUDUL GAMBAR SKALA

- DETAIL TULANGAN BALOK TIPE BE-2 As. 1-A;2-A LT.2	- 1 : 50
- DETAIL TULANGAN BALOK TIPE BE-2 As. 2-A;3-A LT.2	- 1 : 50

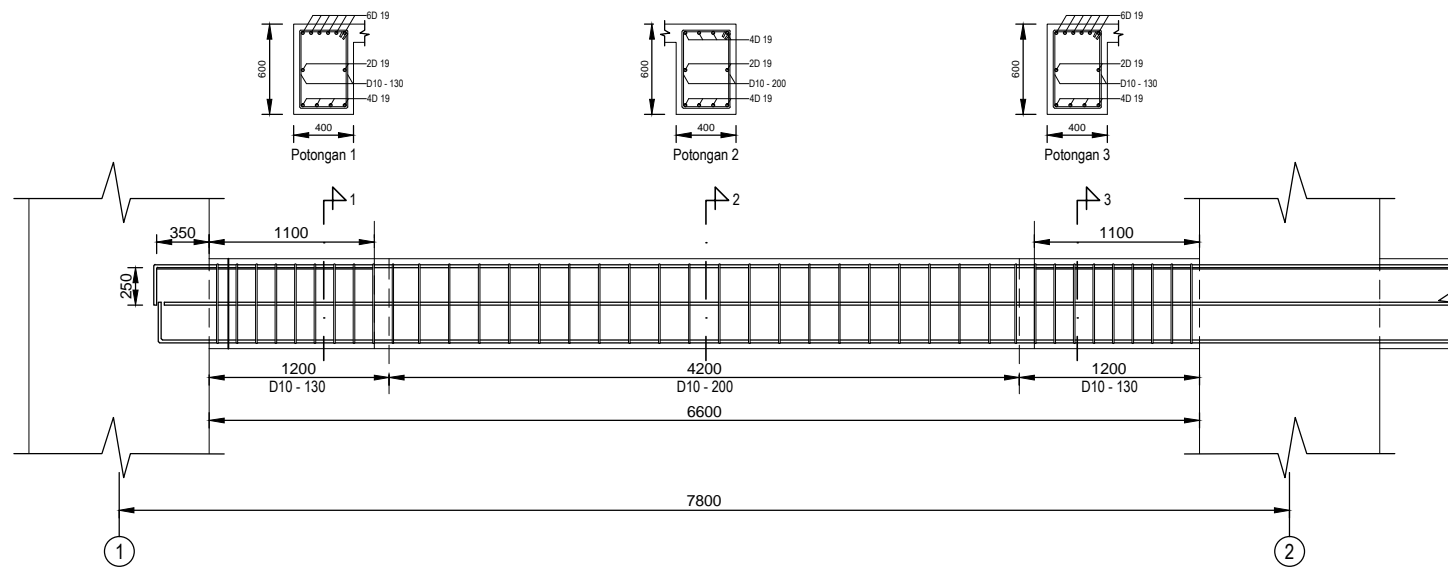
## KODE GAMBAR

STR

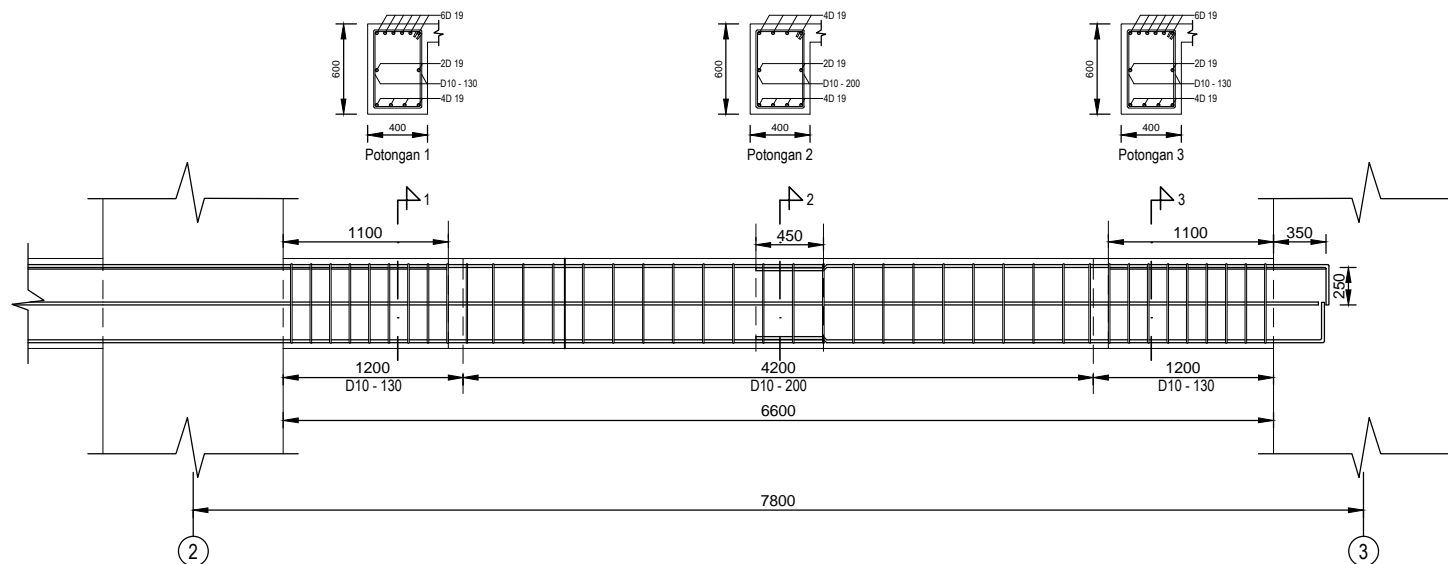
## NO. LEMBAR JML. GAMBAR

18

24



DETAIL TULANGAN BALOK TIPE BE-2 As. 1-A;2-A LT.2  
 1 : 50



DETAIL TULANGAN BALOK TIPE BE-2 As. 2-A;3-A LT.2  
 1 : 50

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
 OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

## DOSEN PEMBIMBING

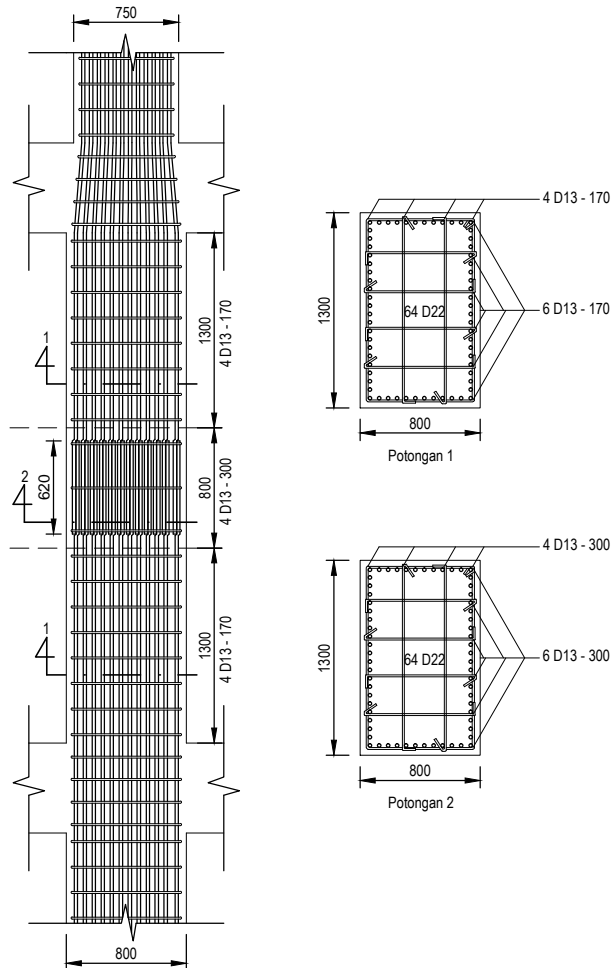
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

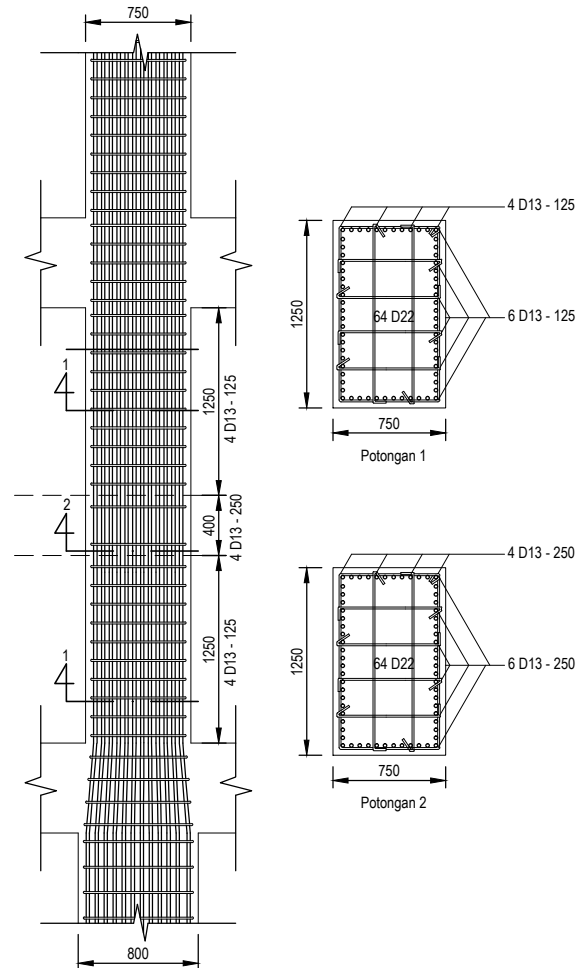
## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN



**DETAIL TULANGAN KOLOM TIPE KI As. 2-B LT.1**  
 1 : 50



**DETAIL TULANGAN KOLOM TIPE KI As. 2-B LT.2**  
 1 : 50

## JUDUL GAMBAR

- DETAIL TULANGAN KOLOM  
 TIPE KI As. 2-B LT.1  
 - DETAIL TULANGAN KOLOM  
 TIPE KI As. 2-B LT.2

- 1 : 50

- 1 : 50

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

19

## JML. GAMBAR

24

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
*OUTRIGGER* DAN *BELT TRUSS*

## DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

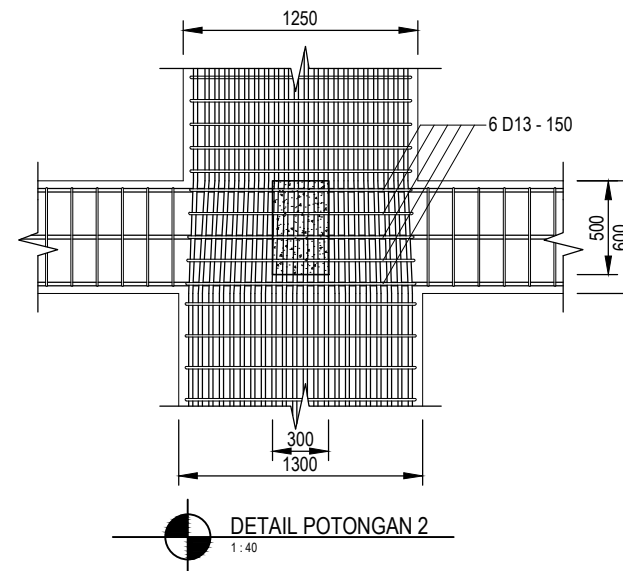
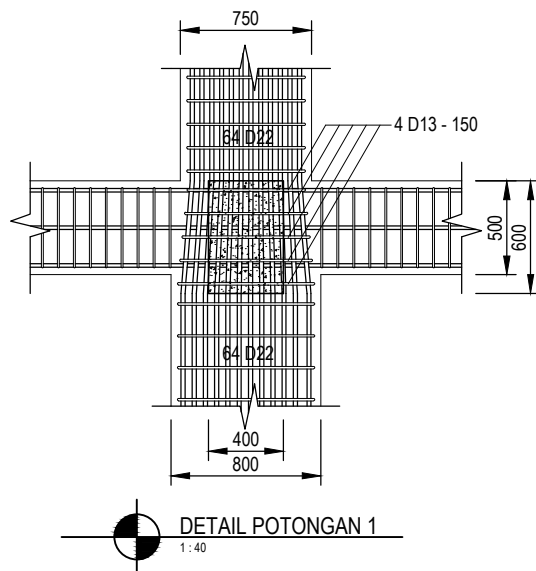
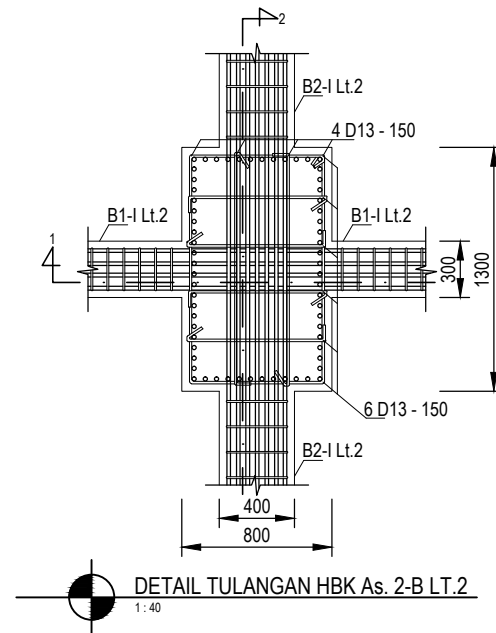
Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN

JUDUL GAMBAR	SKALA
- DETAIL TULANGAN HBK As. 2-B LT.2	- 1 : 40
- DETAIL POTONGAN 1	- 1 : 40
- DETAIL POTONGAN 2	- 1 : 40
KODE GAMBAR	
STR	
NO. LEMBAR	JML. GAMBAR
<b>20</b>	<b>24</b>





## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

## DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP: 19700327 199702 1 001

## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
NRP: 3115 105 050

## CATATAN

## JUDUL GAMBAR

- DETAIL TULANGAN SHEARWALL EL. +1.500	- 1 : 75
- DETAIL TULANGAN SHEARWALL EL. +3.000	- 1 : 75
- DETAIL ELEMEN PEMBATAS KHSUSUS	- 1 : 25

## KODE GAMBAR

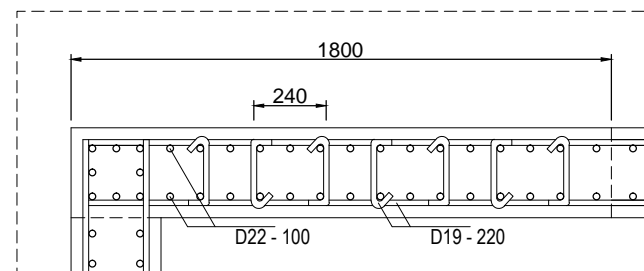
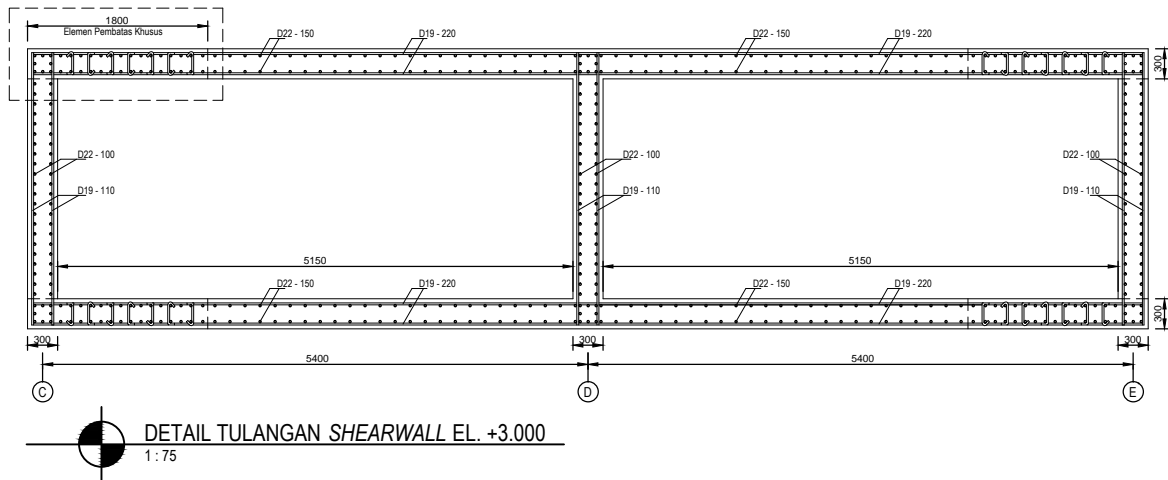
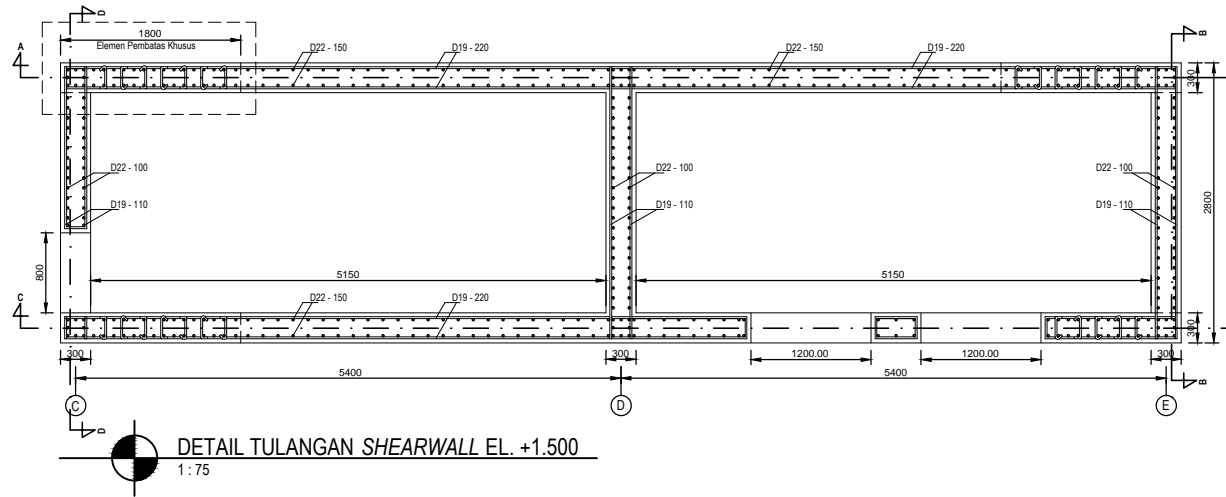
STR

## NO. LEMBAR

21

## JML. GAMBAR

24



**JUDUL TUGAS AKHIR**

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
*OUTRIGGER DAN BELT TRUSS*

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004  
 Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

**MAHASISWA**

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

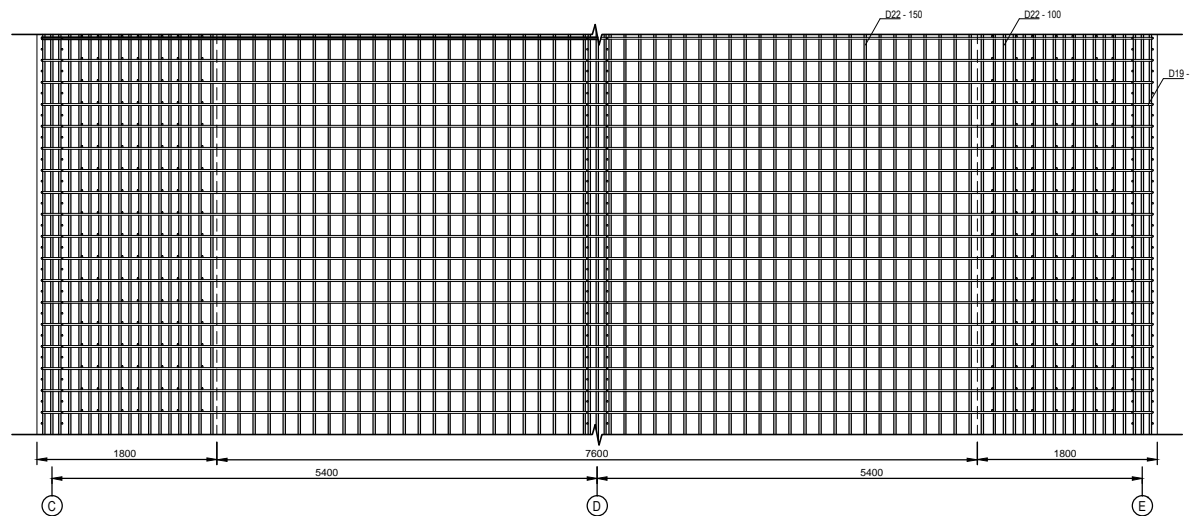
**CATATAN**

JUDUL GAMBAR	SKALA
- DETAIL POT. A-A	- 1 : 75
- DETAIL POT. B-B	- 1 : 75
- DETAIL POT. C-C	- 1 : 75
- DETAIL POT. D-D	- 1 : 75

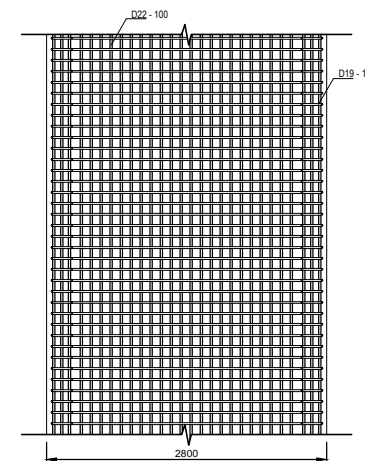
**KODE GAMBAR**

STR

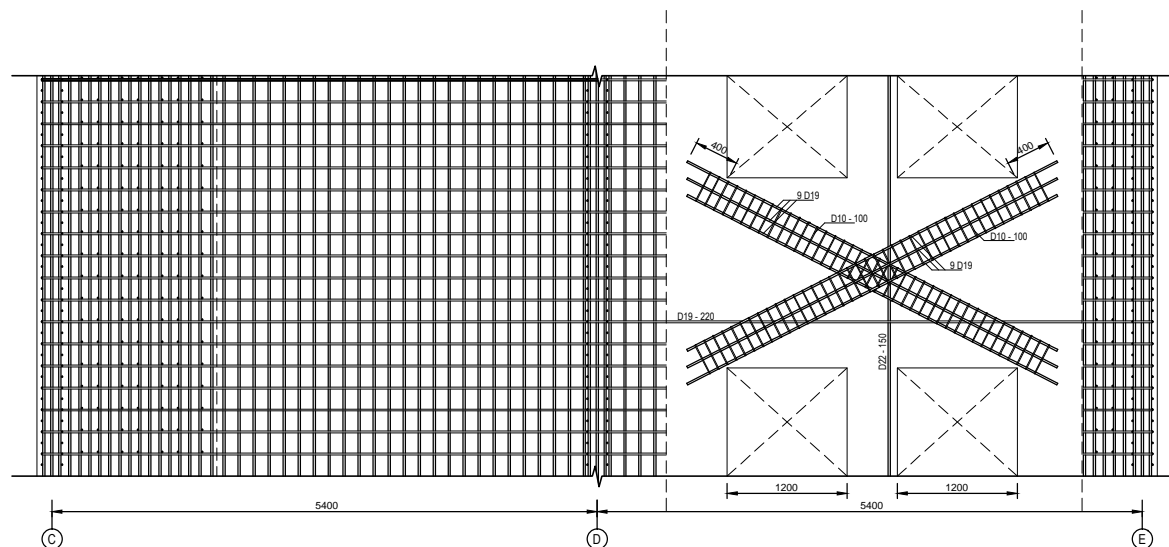
NO. LEMBAR	JML. GAMBAR
<b>22</b>	<b>24</b>



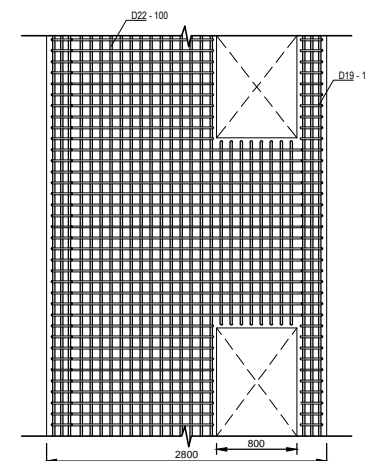
**DETAIL POT. A-A**  
 1 : 75



**DETAIL POT. B-B**  
 1 : 75



**DETAIL POT. C-C**  
 1 : 75



**DETAIL POT. D-D**  
 1 : 75

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
*OUTRIGGER* DAN *BELT TRUSS*

## DOSEN PEMBIMBING

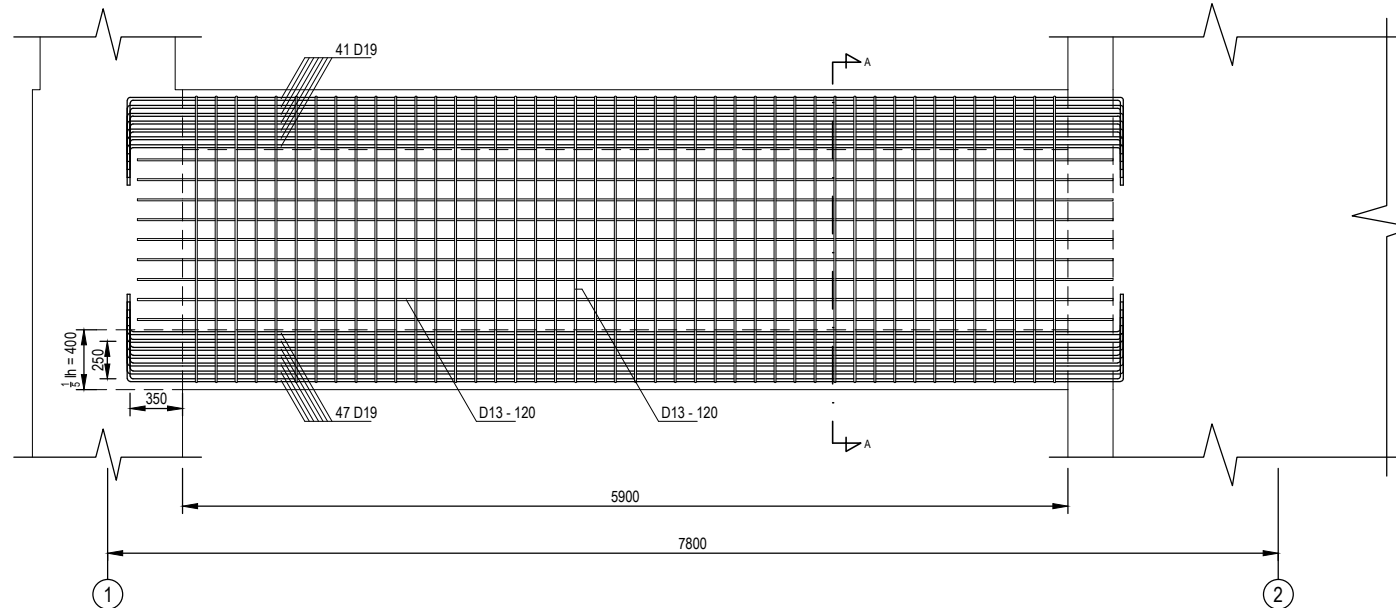
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

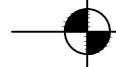
Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

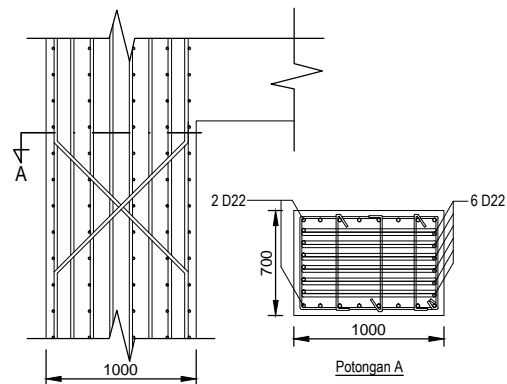
## MAHASISWA

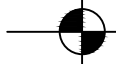
FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

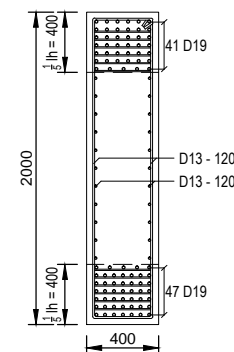
## CATATAN




**DETAIL TULANGAN BALOK TINGGI TIPE BO As. 1-C;2-C**  
 1 : 50




**DETAIL HUBUNGAN BALOK *OUTRIGGER* - KOLOM**  
 1 : 50




**DETAIL POT. A-A**  
 1 : 50

JUDUL GAMBAR	SKALA
- DETAIL TULANGAN BALOK TTINGGI TIPE BO As. 1-C;2-C	- 1 : 50
- DETAIL HUBUNGAN BALOK <i>OUTRIGGER</i> - KOLOM	- 1 : 50
- DETAIL POT. A-A	- 1 : 50
KODE GAMBAR	
STR	
NO. LEMBAR	JML. GAMBAR
<b>23</b>	<b>24</b>

## JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
 APARTEMEN GUNAWANGSA TIDAR  
 SURABAYA MENGGUNAKAN STRUKTUR  
 BETON BERTULANG DENGAN SISTEM  
 OUTRIGGER DAN BELT TRUSS

## DOSEN PEMBIMBING

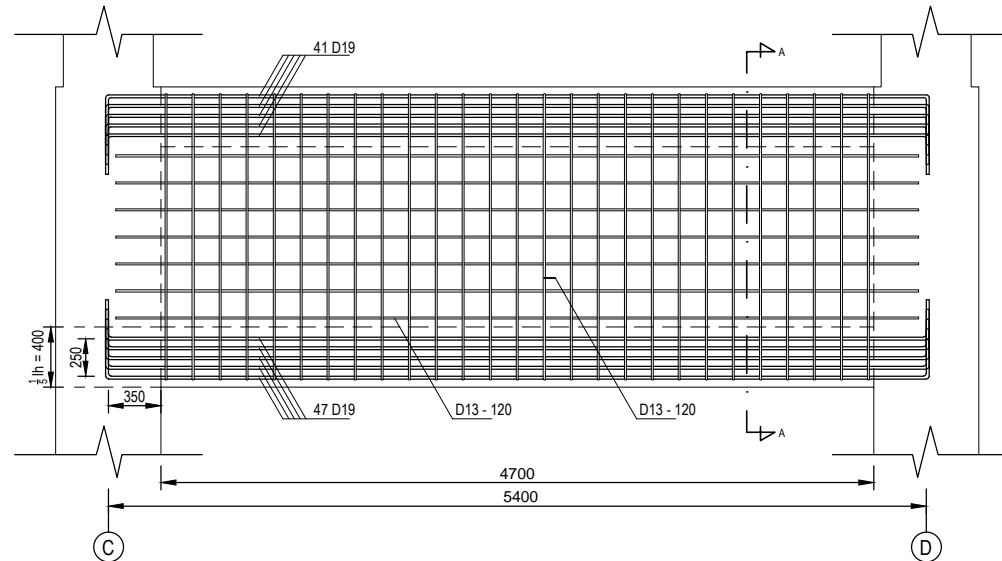
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D.  
 NIP: 19630605 198903 1 004

Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D.  
 NIP: 19700327 199702 1 001

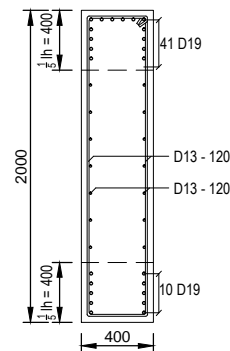
## MAHASISWA

FAUZAN KURNIANTO  
 NRP: 3115 105 050

## CATATAN



**DETAIL TULANGAN BALOK TINGGI TIPE BT As. 1-C;1-D**  
 1 : 50



**DETAIL POT. A-A**  
 1 : 50

## JUDUL GAMBAR

## SKALA

- DETAIL TULANGAN BALOK  
 TTINGGI TIPE BT As. 1-C;1-D  
 - DETAIL POT. A-A

- 1 : 50  
 - 1 : 50

## KODE GAMBAR

STR

## NO. LEMBAR

## JML. GAMBAR

24

24

## BIODATA PENULIS

### Fauzan Kurnianto



Penulis lahir di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 30 Oktober 1993, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kendangsari 1 Surabaya, SMPN 1 Surabaya dan SMAN 1 Surabaya. Lulus dari SMA, penulis kemudian melanjutkan pendidikan program diploma (D3) di Jurusan Diploma Teknik Sipil ITS Surabaya pada tahun 2012 melalui jalur tulis reguler. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan Sarjana (S1) pada

Departemen Teknik Sipil ITS Surabaya melalui program Lintas Jalur dan terdaftar dengan NRP 3115105050. Gelar Sarjana Teknik diperoleh penulis pada tahun 2017 dengan judul Tugas Akhir *“Desain Modifikasi Struktur Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya Menggunakan Struktur Beton Bertulang Dengan Sistem Outrigger Dan Belt-Truss”*.

Email : [fauzankurnianto@gmail.com](mailto:fauzankurnianto@gmail.com)